

Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Escuela de Ingeniería en Construcción.

Optimización, revisión estructural del sistema de soporte y diseño del proceso constructivo estándar de dos tanques metálicos elevados en Jerusalén de Sarapiquí.

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción.

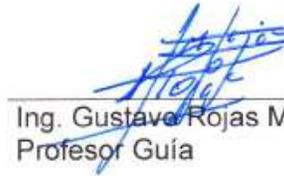
Sebastián Jiménez Delgado.

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Ángel Navarro Mora, Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Miguel Peralta Salas, Ing. Sonia Vargas Calderón., como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



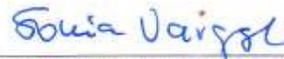
Ing. Ángel Navarro Mora
En representación del Director



Ing. Gustavo Rojas Moya.
Profesor Guía



Ing. Miguel Peralta Salas.
Profesor Lector



Ing. Sonia Vargas Calderón.
Profesora Observadora

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Optimización, revisión estructural del sistema de soporte y diseño del proceso constructivo estándar de dos tanques metálicos elevados en Jerusalén de Sarapiquí.

SEBASTIAN JIMENEZ DELGADO

Proyecto final de graduación para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Diciembre del 2018

Abstract

The increasing demand of the hydric resource; has forced the country to develop a series of strategies, which guaranty the access of drinkable water to the population for its development.

This current investigation indicates the analysis of the proposal for an improvement on the support structure, the structural analysis of the stated proposal and to the development of a constructive procedure for the elevated metallic water tanks. By taking as a sample a current project of two water deposits, each of 150 cubic meters located on Jerusalén, Sarapiquí.

In order to accomplish the investigation, information was gathered regarding to the structure problems related to the construction of the original supportive basis and therefore to document the level of constructive complexity. Furthermore, it was developed an analysis on SAP2000 to determine that the proposal achieved the structural point of view; and finally, it was applied the process mapping technique, to document and refine the constructive method of the deposits.

Due to this investigation, it is determined the convenience of substituting the original structure for the student's proposal; since it is economical suitable and viable from the structural point of view. To conclude, it is defined the standard construction procedure for elevated metallic tanks and its appropriate inspection.

Key words: proposal procedure, seismic analysis, metallic structure.

Resumen

La creciente demanda del recurso hídrico, ha obligado al país a desarrollar una serie de estrategias que garanticen el acceso de la población al agua potable para su desarrollo.

El presente trabajo muestra el análisis de la propuesta de mejora de la estructura de soporte, análisis estructural y desarrollo de un proceso constructivo para tanques metálicos elevados de agua potable, tomando como base el proyecto de dos depósitos de 150m³ cada uno en Jerusalén de Sarapiquí.

Para lograrlo, se recabó información referida a los problemas relacionados con la construcción de la estructura soportante original y así documentar su nivel de complejidad constructiva. Además, se realizó un análisis en *SAP2000* para determinar que la propuesta cumple desde el punto de vista estructural y finalmente, se aplicó la técnica del mapeo de procesos, para documentar y depurar el método constructivo de las obras.

Gracias al estudio, se concluye que es conveniente sustituir la estructura original por la propuesta, ya que esta es más económica y viable desde el punto de vista estructural. Por último, se define el procedimiento de construcción estándar para tanques metálicos elevados y su respectiva inspección.

Palabras clave: proceso productivo, análisis sísmico, estructura metálica.

Contenido

Prefacio.....	6
Resumen ejecutivo	7
Introducción	9
Marco teórico.....	11
Metodología.....	17
Resultados.....	29
Análisis de los resultados	65
Conclusiones	72
Recomendaciones.....	74
Apéndices	75
Anexos.....	137
Referencias.....	148

Prefacio

Desde su fundación en el año de 1961, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados se ha abocado a realizar el desarrollo de programas que garanticen la dotación de un servicio de agua potable de calidad a la población nacional.

Uno de los principales planes de ese programa es el relacionado con el desarrollo rural, el cual ha planteado desde su aparición en la década de los años ochenta, el desarrollo de acueductos relegados principalmente a las zonas costeras y al corredor norte del territorio nacional. Con la aparición del auge turístico a inicios de los noventa, se ha incrementado la construcción de este tipo de obras, en aras de atender de la mejor manera posible la demanda hídrica de estas regiones.

Como parte de esta iniciativa, el AyA promueve la contratación denominada *Construcción del sistema de abastecimiento de agua potable para la comunidad de Jerusalén de Sarapiquí*, la cual incluye la construcción de dos tanques metálicos elevados de agua potable, que buscan mejorar las condiciones para la distribución del preciado líquido en el lugar.

El diseño estructural de la armadura de soporte del tanque definido en planos, contiene una serie de directrices que vician y entran su construcción, haciendo incurrir a la Institución en una serie de gastos innecesarios, mismos que a la luz de la ética profesional y de la situación fiscal actual del país, deben ser atacados y eliminados con la intención de realizar el trabajo de una manera eficiente, eficaz, segura y económica. Es importante acotar que la concepción estructural del proyecto, se ha venido utilizando de manera reiterativa en los últimos diez años, por lo que es importante generar un cambio a la mayor brevedad posible, con la finalidad de aplicar las medidas correctivas necesarias y generar un valor agregado sobre las obras.

En virtud de lo anterior, se plantea un cambio en la estructura de soporte del tanque, con la finalidad de realizar las urgentes mejoras y agilizar

y optimizar la construcción de la obra. Esa proposición necesariamente debe estar acompañada de la revisión estructural que garantice su viabilidad y de manera complementaria, de un diseño del proceso constructivo estándar, incluyendo las permutas sugeridas.

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, quien me dio las fuerzas, entendimiento, perseverancia y guía para su conclusión. Soy el único ser humano que conozco a quien Dios dotó de dos verdaderas madres en el amplio sentido de la palabra que ello significa, dedico mi esfuerzo a Isabel Delgado Herrera, mi amada mamá que me acompaña desde el cielo y a Luz Argentina Jiménez Delgado, mi amada mamá que aún me guía en la tierra. A mi amadísimo padre, Javier Jiménez Garro (qdDg), quien en vida me enseñó todo lo que me permitió llegar adonde hoy estoy. A mi esposa Stephanny Masís Rodríguez y a mi hija Samantha Jiménez Masís por ser mi motor de genuina inspiración y felicidad y mi apoyo incondicional en todo momento. A mis hermanos Ana, Javier, Jorge, Rosario, Patricia, Pedro, Adrián y Federico, por ser parte fundamental en mi vida y por el apoyo en muchos momentos en mi carrera.

Extiendo un agradecimiento muy especial a mis jefes, los ingenieros Oscar Quesada Vargas y Randall Guzmán Cambronerero por todas las facilidades, la orientación y el apoyo brindados en este camino. Otro agradecimiento igual de significativo a mi profesor guía en este trabajo, el Ing. Gustavo Rojas Moya, por toda su dedicación, entrega y ayuda, ahora su madre debe estar inmensamente orgullosa de él en el cielo.

No omito mencionar a todas aquellas personas, familiares restantes, profesores, exjefes, compañeros y excompañeros de trabajo, amigos, entre muchos otros, que de una u otra manera colaboraron para que hoy esto sea posible. A todos los mencionados anteriormente, les estaré siempre altamente agradecido y les ofrezco una enorme bendición.

Resumen ejecutivo

Uno de los principales programas para el desarrollo de infraestructura de agua potable del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, mencionado de aquí en adelante como el Instituto o AyA, es el relacionado con el crecimiento de los Acueductos Rurales, cuya principal característica es que su incidencia se concentra en las zonas costeras de ambos litorales, así como en el corredor norte de nuestro país, es decir, la zona de Las Barras, Guápiles, Sarapiquí, Río Cuarto, Los Chiles, entre otros.

Como respuesta a esa iniciativa, el Instituto gestiona la contratación llamada: *Construcción del sistema de abastecimiento de agua potable para la comunidad de Jerusalén de Sarapiquí*, la cual busca reforzar el sistema de acueducto de la zona, dotándolo de infraestructura nueva para la operación por parte de la ASADA de La Gata de Jerusalén y disminuir así un poco la cruda problemática asociada a la falta de agua potable en la zona.

El proyecto contempla la construcción de dos tanques metálicos de almacenamiento elevados de 150 m³ cada uno, que serán construidos en un mismo lote propiedad del AyA y servirán para distribuir líquido a dos diferentes regiones de la zona.

El diseño original de las obras incluye una estructura de soporte para ambos tanques que utiliza columnas cuadras y arriostres horizontales rectangulares, fabricados en taller bajo directrices que agregan un nivel de complejidad importante a la fabricación de las obras, ya que se asocian a una serie de agravantes constructivas que entorpecen la fabricación de los elementos, encarecen el costo de las obras y están asociados a problemas operativos importantes como la disminución de la vida útil del proyecto.

La concepción de obra incluyendo la armadura mencionada, se utilizó de manera reiterativa en

diferentes obras de AyA desde hace aproximadamente unos diez años, generando una serie de experiencias en relación a la construcción y mantenimiento de esos proyectos, que evidencia la existencia de un problema de fondo asociado al diseño, que vale la pena atacar.

El objetivo del presente trabajo consistió en la evaluación y formulación de una propuesta estructural para sustituir los elementos asociados a los problemas de índole constructiva, por otros que poseen una facilidad de manipulación y elaboración mucho mayor. Al mismo tiempo se realizó la revisión estructural de los elementos propuestos para comprobar su viabilidad en el uso del proyecto, para concluir con el diseño del proceso constructivo óptimo de la obra de metalmecánica del proyecto.

Con la intención de lograr la consecución de los objetivos planteados, el trabajo se dividió en las siguientes etapas de análisis.

Fase 1: Propuesta de mejora de la estructura de soporte.

Al formar parte del conjunto multidisciplinario encargado de realizar la inspección de obras de metalmecánica del AyA durante los últimos diez años, la identificación de los problemas achacados a la construcción de ese tipo de miembros, está respaldada por una serie de lecciones aprendidas en diferentes proyectos que se han forjado a través del tiempo y que lastimosamente aún hoy día se repiten.

Como consecuencia de esa experiencia adquirida, se describen una serie de trabas asociadas a la construcción de esos elementos

como deformaciones, sobrecalentamientos, corrosión, difícil mantenimiento, entre otros, que constituyen un obstáculo para avanzar de manera expedita en el proyecto.

Ante este panorama, se realiza el planteamiento para modificar las columnas, arriostres horizontales e inclinados por tubos redondos de acero y revestir así la estructura de soporte del tanque de una mayor facilidad constructiva y de mantenimiento, así como mayor belleza estética.

Se determinó la viabilidad del cambio de los miembros seleccionados, obedeciendo a criterios de facilidad constructiva, ahorro en el costo del proyecto, facilidad de mantenimiento y belleza estética de las obras.

Fase 2: Revisión estructural del planteamiento.

Una vez propuestos de manera preliminar los miembros estructurales a utilizar, se realizó la modulación de la estructura en el programa *SAP2000* a partir de las dimensiones y especificaciones técnicas del proyecto definidas en planos, para verificar el cumplimiento de las secciones propuestas mediante la teoría descrita en el AISC (*American Institute of Steel Construction*) y el *Código Sísmico de Costa Rica 2010* del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, por el método LRFD, para las solicitaciones predominantes que correspondan.

Del análisis de la estructura se extraen las solicitaciones últimas de diseño y se revisan contra su capacidad nominal. A partir de esta se concluyó que las secciones incluidas en el planteamiento cumplen con los requerimientos básicos de diseño, por lo que pueden ser utilizadas en las obras. La permuta sugerida propone una estructura más liviana, lo que influye directamente en el costo del proyecto, este es un aspecto importante a tomar en cuenta, en función del ahorro que se pueda generar en proyectos financiados con fondos provenientes del heraldo público.

Fase 3: Diseño del proceso constructivo estándar de tanques elevados.

Se procedió a identificar los contratistas que habían construido obras similares en el AyA en los últimos diez años (periodo que coincide con la aplicación sistemática del diseño analizado, según los registros de la Unidad de diseño del AyA), para posteriormente diseñar una encuesta que pretendió identificar aspectos de logística, mano de obra, equipo, limitaciones de espacio, limitaciones de transporte y temas de seguridad ocupacional aplicados por las empresas seleccionadas para el respectivo análisis.

La obtención de datos se realizó en las cuatro empresas que construyeron obras similares en el tiempo descrito, según se indica en la técnica de mapeo de procesos y en la *Guía técnica para normar y elaborar manuales y procedimientos institucionales* del AyA

El mapeo de procesos constituye una técnica fundamental para documentar y depurar procesos productivos que se sabe que se realizan y generan buenos resultados, pero carecen de un asidero técnico y teórico que respalde sus alcances.

Una vez procesada la información, se realizaron las definiciones propuestas por el método descrito para determinar qué hacer, cómo hacerlo, quién lo hará y como se valorará el trabajo realizado.

Se desarrolla el procedimiento de construcción estándar para tanques elevados metálicos, optimizado a partir de procesos constructivos particulares. El mismo incluye una serie de referencias para el descarte o aceptación de trabajos de pintura y soldadura, así como una serie de boletas de inspección, para documentar el trabajo realizado y el avance de cada obra.

El documento constituye una herramienta útil para la comprensión, análisis, inspección y documentación de los métodos de fabricación de taques elevados de almacenamiento de agua potable.

Introducción

La Constitución Política de la República de Costa Rica reza en su artículo 50 que *"todo habitante tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado"*, por lo que el Gobierno Central deberá velar porque las disposiciones y normas se cumplan y garantizar así un entorno seguro y saludable.

La salud de una población está directamente relacionada con el acceso a agua potable de calidad, que le permita desarrollarse plenamente en todo el sentido de la palabra. Con base en esa directriz, el Gobierno delega el manejo del recurso hídrico nacional en varias de sus instituciones, con la finalidad de que se alcance la mayor cobertura del servicio a nivel nacional, sin que dicho bien sea puesto en peligro.

Este país goza de una capacidad hídrica envidiable, la cual ha venido a la baja gracias a una ausencia de planificación de crecimiento demográfico, el cual inclusive amenaza a varios sectores de la población con un desabastecimiento indefinido, si no se hace un uso racional del agua, tal y como sucede en Guanacaste y Puriscal, por ejemplo.

Otro de los aspectos que influye en la falta de líquido, es la insipiente inversión que se genera a nivel nacional para fortalecer y mejorar los sistemas para dotar del servicio a la población, la cual está limitada por una gran carga de trámites burocráticos, que impiden hacer el uso de recursos económicos de manera ágil y eficiente. Esa condición provoca que los sistemas de infraestructura rural propiedad del AyA y que son administrados en su mayoría por las ASADAS, sufran un deterioro constante y alcancen una condición de estado regular, la cual dista mucho de una situación óptima en la que se debería estar para su operación.

Como una medida que busca resolver el tema de la disponibilidad del servicio en las zonas rurales, el Instituto promueve la contratación para la construcción de dos tanques metálicos elevados de agua potable en la localidad de Jerusalén de

Sarapiquí, en la provincia de Heredia, los cuales corresponden a un reservorio cilíndrico horizontal de 150 m³ de capacidad, apoyado sobre una estructura de soporte de marcos arriostrados lateralmente de 15 metros de altura. El tanque contempla una estructura interna tipo cercha para evitar deformaciones, una escalera de acceso y una pasarela externa con baranda para acceder a la periferia del contenedor.

Las estructuras de soporte de los tanques están contempladas a partir de dos elementos de fabricación en taller de estructura metálica, que generan una serie de problemas en su proceso de fabricación, los cuales encarecen el costo del proyecto y comprometen seriamente su vida útil, estos son: las columnas y los arriostres horizontales. El diseño es realizado por un profesional externo al AyA, quien es contratado con esa finalidad y se avaló en su momento por la oficina encargada de diseño, hace aproximadamente unos 10 años. Desde ese momento se ha utilizado de manera reiterativa, generando una y otra vez la problemática mencionada en párrafos anteriores.

La importancia de la investigación realizada radica en la formulación de un cambio de la concepción estructural de la obra, por una propuesta mejorada, representa un ahorro en la erogación de gastos relacionados con la inversión de proyectos, lo que finalmente significa un aspecto de vital importancia para el Instituto, pues es un monto que podría ser destinado a otro fin específico, evitando así un manejo inadecuado de los fondos públicos, en un ambiente financiero y fiscal limitado.

Como consecuencia de la necesidad de corregir esa falencia de diseño de la obra y contar con un documento técnico para refutar el planteamiento estructural de proyectos sucesivos, surge la iniciativa representada en el presente trabajo, la cual persigue el objetivo general de desarrollar el proceso constructivo estándar para la fabricación de tanques metálicos elevados de

almacenamiento de agua potable, basado en una propuesta de diseño de los elementos de la estructura de soporte que sustituya las columnas y arriostres horizontales de área transversal cuadrada y rectangular respectivamente, por una circular que cumple con los requerimientos de diseño estipulados.

Por su parte, los objetivos específicos determinados para el proyecto son:

- Identificar y enumerar los principales problemas asociados a la construcción de las columnas y arriostres horizontales definidos en planos.
- Realizar la propuesta preliminar para el inicio del análisis de elementos para la fabricación del tipo de estructura contemplado.
- Determinar las solicitaciones máximas generadas en los elementos propuestos.
- Revisar el cumplimiento de las solicitaciones máximas de diseño de los elementos metálicos
- Determinar las empresas recurrentes en la construcción del tipo de obra en estudio para el AyA en los últimos diez años.
- Determinar la información involucrada en el proceso de construcción de cada empresa analizada en referencia a logística, mano de obra, equipo, restricciones en taller, restricciones de transporte y seguridad ocupacional.
- Realizar el proceso constructivo estándar característico para la fabricación de tanques metálicos elevados.

Es fundamental recalcar que las uniones soldadas y pernadas necesarias para completar la fabricación de la estructura no forma parte del presente trabajo, en virtud de que el tiempo definido para su ejecución no permite abarcar su desarrollo, además de que existe una negociación previa entre la Unidad encargada del diseño y su homóloga responsable de la ejecución de las obras, ambas pertenecientes al AyA, para de manera conjunta elaborar una concepción estructural final del proyecto, la cual involucre las modificaciones planteadas como parte del análisis realizado y descrito en este informe.

Es importante destacar que la formulación de los problemas asociados a la construcción de los miembros descritos en planos, se realiza con base en las lecciones aprendidas durante los procesos de inspección de obras similares en los últimos diez años como colaborador del AyA. La revisión

estructural de los elementos propuestos se realiza basado en las teorías de diseño de elementos metálicos del AISC y del *Código Sísmico de Costa Rica 2010*, mediante el método LFRD.

Por otro lado, el diseño del proceso constructivo estándar de los tanques metálicos, se apoya en la herramienta de manejo de procedimientos llamada *mapeo de proceso* y en la *Guía técnica para normar y elaborar manuales y procedimientos institucionales* del AyA para su definición.

La implementación dentro del AyA del documento *Proceso constructivo estándar de tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua potable* producto de esta investigación, constituye una innovación digna de resaltar, ya que no existe dentro del Instituto una herramienta similar para la documentación de los procesos de construcción de dichas obras, por lo que su uso será de gran utilidad para la inspección de los proyectos similares.

Marco teórico

Generalidades.

Un tanque de almacenamiento se define como una obra de ingeniería concebida para la contención de materia dentro de su interior, la cual puede ser líquida, gaseosa o sólida. Su uso varía tanto como su forma, ya que pueden contener agua, químicos, hidrocarburos, semillas, granos, desperdicios e inclusive material tóxico y radiactivo.

Dichas estructuras están ampliamente involucradas en una enorme gama de procesos productivos como tratamiento, transporte, almacenamiento, distribución, destilación y venta de servicios, tal y como corresponde el caso en cuestión. Es decir, se puede concluir que un tanque corresponde a una estructura fabricada en un material específico, para retener sustancias sólidas, líquidas o gaseosas y que forma parte de un proceso de producción determinado.

En el caso de un sistema de abastecimiento de agua potable, un tanque de acopio cumple una función fundamental dentro del proceso de distribución del preciado líquido, ya que representa una estructura que no puede salir de operación ante ningún evento extraordinario, sea sismo, accidente, incendio, entre muchos otros. Ante este panorama, es fundamental considerar dentro de su comportamiento la posible afectación por sismo, ya que es una de las condiciones más críticas que se pueden enfrentar y los daños ocasionados por su falla pueden ir desde derrame del líquido contenido, pérdidas materiales importantes y pérdidas de vidas humanas, por lo tanto, la resistencia que pueda desarrollar un tanque de almacenamiento de agua ante un evento sísmico considerable, es de vital importancia para su operación continua y para garantizar la salud de la población en caso de un siniestro.

Uno de los materiales utilizados muy comúnmente para la construcción de este tipo de obras es el metal, ya que, por su facilidad, rapidez y limpieza a la hora de construir, aunado a una resistencia estructural importante en función de las

fuerzas que participan, ofrecen una alternativa interesante a considerar.

La normativa vigente que rige el diseño de este tipo de estructuras varía según el componente que se analice, así por ejemplo la cimentación de la estructura se rige por las indicaciones definidas en el ACI (*American Concrete Institute*), el reservorio responde a las directrices determinadas en el capítulo D-100 de la norma AWWA (*American Water Works Association*) y en la norma API 650 (*American Petroleum Institute*), contemplando las variantes correspondientes a la consideración por el cambio de la altura generado por la torre y el cambio del peso específico del líquido a contener respectivamente. Por último, la estructura de soporte está normada por las orientaciones del AISC (*American Institute of Steel Construction*) y el Código Sísmico de Costa Rica del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos en su versión 2010.

Precisamente el AISC define que el diseño de este material está influenciado por dos filosofías aceptables de concepción estructural, las cuales aportan su enfoque particular al diseño, se trata de los métodos de diseño por esfuerzo permisible o ASD (*Allowable Strength Design*) y por carga última o LRFD (*Load and Resistance Factor Design*). Ambos sustentan sus análisis y principios en los estados límite de diseño, cuya condición corresponde al intervalo donde un elemento o estructura deja de realizar la labor encomendada. Dichos estados extremos pueden ser de resistencia y de servicio y están asociados a la capacidad de tolerar carga y deformación respectivamente, sin embargo, se deben evitar.

La metodología de diseño LRFD amplifica la estimación de cargas involucradas en el diseño, al mismo tiempo que reduce la capacidad nominal de los elementos. Por su parte, la filosofía de diseño ASD no amplifica las cargas estimadas (cargas de servicio), sino que factoriza los esfuerzos mediante un factor de seguridad.

En el caso del diseño por carga última, se forman grupos de cargas compatibles y similares, se multiplican por un factor de carga mayor que 1 (en virtud de la incertidumbre asumida sobre el tipo de fuerzas actuantes y el efecto que causan esas cargas sobre las estructuras) y cada grupo resultante de esa multiplicación se llama carga factorizada; el mayor de ellos se toma para el cálculo de las solicitaciones de carga axial, cortante, momento, etc y los valores obtenidos afectados por los factores no deberán ser mayores a la resistencia última del elemento. Dicha relación se resume en la siguiente ecuación:

$$\Phi R_n \geq R_u \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Φ : factor de reducción.

R_n : resistencia nominal del elemento.

R_u : fuerza última en el miembro.

Para nuestro país, las combinaciones mencionadas con anterioridad corresponden a las definidas en el *Código Sísmico de Costa Rica 2010* incluidas en el apartado 6.2 *Participación de las diferentes acciones del Capítulo 6. Cargas y factores de participación*, las cuales se presentan a continuación:

$$CU = 1.4CP \quad \text{Ecuación 2}$$

$$CU = 1.2CP + 1.6 f_R CT + 1.6CE \quad \text{Ecuación 3}$$

$$CU = 1.05CP + f_1 f_R CT \pm CS + CE \quad \text{Ecuación 4}$$

$$CU = 0.95CP \pm CS + CE \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

CU : carga última de diseño.

CP : carga permanente.

f_R : factor de reducción de carga temporal (art 6.3).

CT : carga temporal.

CE : carga por empuje.

f_1 : 0.5 para baja probabilidad de ocupación y 1.0 para alta probabilidad de máxima CT en el sismo.

CS : carga sísmica.

En relación con el diseño por el método del esfuerzo permisible, este divide la resistencia nominal del elemento por un valor mayor que 1 y este valor debe ser mayor a la carga de servicio calculada para cada caso. La expresión matemática de la relación descrita es la siguiente:

$$\frac{R_n}{\Omega} \geq Q_i \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

R_n : resistencia nominal del elemento.

Ω : factor de seguridad.

Q_i : mayor fuerza calculada en el elemento.

La totalidad de los diseños contemplados en el presente trabajo se realizaron mediante la metodología de diseño LRDF, tal y como se define en el *Código Sísmico de Costa Rica 2010*.

El comportamiento esperado de una estructura de soporte como la analizada en el presente trabajo, la cual se define como un marco arriostrado lateralmente, indica que las fuerzas predominantes que actúan en ella corresponden mayoritariamente a carga axial representada por acciones de compresión y tensión sobre los miembros que la conforman, en virtud de que el momento proyectado sobre una armadura es bajo, lo que a su vez genera poco esfuerzo cortante, el cual contrasta con la gran capacidad del metal para soportar este fenómeno en específico. Finalmente, la revisión por flexocompresión agrupa los resultados obtenidos de carga axial, y momento para realizar la verificación con combinación de efectos, cuyo resultado debe ser menor que uno.

En síntesis, en este tipo de estructuras se espera que los efectos significativos sean aportados por la carga axial, al mismo tiempo que el momento, cortante y torsión no deberían ser significativos, ya que al considerar la teoría de armaduras para el análisis del trabajo, automáticamente se está adoptando la premisa de que el momento flector es cero en las intersecciones o puntos de convergencia de los elementos.

Bajo estos preceptos, se debe realizar el análisis estructural de la torre para así identificar las solicitaciones máximas en miembros críticos y diseñar los componentes de acuerdo con la carga última respectiva en cada caso, de manera que se corrobore la resistencia de miembros a tensión, a compresión principalmente. Existe una mención aparte para la verificación por flexocompresión, adonde, en la cual se espera que la carga axial desarrolle un papel preponderante en el comportamiento en combinación con el momento flector.

Diseño de miembros sometidos a tensión.

Si se analiza un miembro de acero sometido a tensión, es de gran importancia estimar la carga producida sobre el elemento, calcular el área requerida para soportar dicha fuerza y proponer una sección que cumpla con el requerimiento de superficie que se necesita. Un elemento de acero de sección constante (sin reducciones, engrosamientos o huecos) que esté bajo tensión, es capaz de resistir una fuerza proporcional al producto de su sección transversal y el esfuerzo de fluencia, hasta su fractura. En el caso de secciones variables, la resistencia está limitada por la menor área del elemento y podrá ser más pequeña que la necesaria para activar deformaciones plásticas de la zona más robusta. La falla por fluencia de un elemento constante, según es el caso de los elementos de la estructura de soporte, está dada por la ecuación:

$$P_u = \phi_t * F_y * A_g \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

P_u : carga última.

ϕ_t : factor de reducción de resistencia (0.90).

F_y : esfuerzo de fluencia del acero.

A_g : área neta

La fuerza de diseño requerida (P_u) debe ser menor o igual a la resistencia nominal del estado límite afectada por el factor de resistencia, según se indicó en la Ecuación 1. Por otro lado, el AISC establece que debe realizarse la verificación para los estados límite de fluencia y fractura, tal y como se describe respectivamente a continuación:

$$P_n = F_y * A_g * \phi \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

P_n : resistencia nominal.

F_y : esfuerzo de fluencia mínimo.

A_g : área transversal.

ϕ : factor de reducción de resistencia (0,90).

$$P_n = F_u * A_e * \phi \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

P_n : resistencia nominal.

F_u : esfuerzo último del acero.

A_e : área neta efectiva (puede ser igual al A_g)

ϕ : 0.75

El desplazamiento o aumento de la longitud del elemento sometido a tensión se calcula según la Ecuación 10 y se recomienda revisar que la relación de esbeltez máxima (L/r) no supere 300.

$$\Delta = \frac{P * L}{E * A_g} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

Δ : desplazamiento.

P : tensión.

L : longitud del elemento.

E : módulo de elasticidad del acero.

Diseño de elementos por compresión.

El fenómeno de la compresión está directamente relacionado al pandeo, ya que a la hora de cargar un elemento axialmente mediante compresión, este disminuye su longitud y cuando se alcanza la carga última de pandeo, se genera una deformación lateral que merma la capacidad del miembro, es decir, la resistencia a la compresión y el modo de falla asociado a esta, para una sección específica, dependen directamente de su longitud.

Así entonces, a mayor longitud del elemento, existe una menor resistencia al pandeo. La carga de pandeo está definida por la fórmula de Euler, la cual se remite a continuación:

$$P_e = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

P_e : pandeo.

E : módulo de elasticidad del acero.

I : inercia.

L : longitud.

Este fenómeno cataloga a las secciones de acero como secciones compactas, no compactas y esbeltas en referencia a su ancho y espesor, sin omitir mencionar que el parámetro más significativo para definir la estabilidad de los miembros es la relación de esbeltez (KL/r), que representan valores predeterminados según las condiciones de apoyo.

El esfuerzo crítico es función del parámetro de esbeltez, que al mismo tiempo define si el pandeo es elástico o inelástico. La Ecuación 12, 13 y 14 describen respectivamente los cálculos del parámetro de esbeltez, el esfuerzo crítico (F_{cr}) para pandeo inelástico y por último, el esfuerzo crítico para pandeo elástico.

$$\lambda = \frac{KL}{r} \sqrt{F_y/E} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$F_{cr} = (0,658 \lambda^2) * F_y \quad \text{Ecuación 13}$$

$$F_{cr} = \frac{0,877}{\lambda^2} * F_y \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

F_{cr} : esfuerzo crítico.

λ : factor de esbeltez.

$\frac{KL}{r}$: longitud efectiva.

F_y : esfuerzo de fluencia.

E : módulo de elasticidad del acero.

Finalmente, la resistencia nominal a la compresión de los elementos y la carga última de la sección, se indican en la Ecuación 15 y 16 respectivamente.

$$P_n = A_g * F_{cr} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$P_u = \phi * P_n \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

P_n : carga nominal de compresión.

A_g : área transversal efectiva.

F_{cr} : esfuerzo crítico.

P_u : carga última de compresión.

Comportamiento a flexión y revisión por flexocompresión.

Un elemento que actúa bajo la influencia de la flexión, debe ser analizado con base en las siguientes premisas:

- La distribución de la deformación es lineal en todo momento.
- La magnitud de dicha deformación es proporcional a la distancia que la separa del eje neutro.

- La distribución de los esfuerzos depende de la magnitud de la carga involucrada.

El comportamiento de una viga ante diferentes estados de carga, es el primer paso a seguir para determinar su resistencia nominal. Así entonces para cargas bajas los esfuerzos en la viga varían de manera lineal desde el eje neutro –donde su valor es cero– hasta un valor máximo en sus extremos, siempre por debajo del límite de fluencia. Conforme la carga incrementa su magnitud, se alcanzan los esfuerzos máximos en los extremos, hasta llegar al esfuerzo de fluencia.

Ya en este punto, los esfuerzos no son lineales e invierten su avance, es decir, se trasladan de los extremos hacia el eje neutro, hasta que toda la sección entra en fluencia. Este fenómeno es lo que se conoce como rótula plástica, misma que representa un estado o mecanismo inestable que debe ser estudiado mediante el análisis plástico.

Los momentos resistente y último de una sección, se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$M_u = \phi * M_n \quad \text{Ecuación 17}$$

$$M_n = F_y * Z \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

M_u : momento último

M_n : momento nominal

ϕ : factor de reducción de resistencia (0,90)

F_y : esfuerzo de fluencia

Z : modo de sección plástica.

El requisito básico más importante que debe aprobar el diseño de un determinado elemento, es el que define que la resistencia de este debe ser mayor al efecto producido por la interacción de todas las cargas involucradas, es decir, por flexocompresión. El fenómeno contempla la acción de momento en los dos ejes principales y se debe valorar según sea el caso descrito en el AISC, a saber: para cargas axiales grandes (mayores a 0,2) o para cargas axiales pequeñas. Las respectivas ecuaciones se detallan a continuación.

$$\text{Si } P_u \geq 0,20\phi P_n$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1,00 \quad \text{Ecuación 19}$$

$$\text{Si } P_u < 0,20\phi P_n$$

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \left(\frac{M_{ux} + M_{uy}}{\phi M_{nx} \phi M_{ny}} \right) \leq 1,00 \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

P_u : carga última en tensión o compresión

ϕP_n : resistencia nominal a la tensión o compresión

M_{ux} : momento último en sentido X

ϕM_{nx} : momento nominal en sentido X

M_{uy} : momento último en sentido Y

ϕM_{ny} : momento nominal en sentido Y

Consideraciones de carga sobre la estructura.

Una vez definido el sistema estructural asignado a la torre, el cual se considera tipo voladizo, es fundamental determinar el punto de partida para el análisis de la misma, en función de los aspectos y fuerzas que intervienen.

Uno de los puntos de interés para la formulación del análisis lo constituye el sismo. La interacción y el efecto de este fenómeno natural sobre las diferentes masas que componen el proyecto, obligan a realizar una propuesta que considere la afectación por la aceleración del suelo sobre la estructura de soporte, sobre la masa del reservorio y desde luego sobre la masa de agua contenida dentro de este.

Para la obra considera, la aplicación de las cargas temporales y sísmicas que determina el *Código Sísmico de Costa Rica 2010*.

La aplicación del efecto del sismo sobre la estructura se da al acelerar la masa del reservorio, la del agua y la de la estructura de soporte. Para tomar en cuenta las masas del reservorio y del agua, se genera un punto ficticio ubicado espacialmente en el centroide del reservorio.

La forma en que el agua se mueve dentro de contenedor afecta directamente a las paredes de este, por lo que su efecto no se considera sobre la estructura, ya que se parte de la premisa del razonamiento que define que el funcionamiento del tanque no afecta de manera significativa el *performance* de la armadura soportante.

Cabe destacar que el comportamiento de este tipo de estructuras ante un sismo de dimensiones trepidantes, respalda la observación realizada que indica que alguno de los elementos que la componen podría generar un efecto de rótula plástica, razón por la cual se genera un mecanismo inestable que aporta a la estructura cargas que no se consideran dentro del diseño,

por lo que su operación normal se compromete de manera importante.

Mapeo de procesos.

La construcción de obras de infraestructura poco convencionales, por lo general, está asociada a la aplicación de procedimientos empíricos y hasta rudimentarios, los cuales se sabe que generan buenos réditos, sin embargo su documentación y respaldo es escasa o nula, este es el caso de los tanques de almacenamiento de AyA sujetos del presente análisis.

Para corregir esta falencia, existe una herramienta denominada mapeo de procesos, la cual busca recopilar la totalidad de aspectos relacionados a un proceso en específico, con el objetivo de documentar los pasos, requerimientos, normativas, equipos y mano de obra indispensables para su ejecución.

Para su puesta en marcha, esta técnica define como requisito principal poseer un conocimiento amplio y claro sobre la metodología procesada, con la finalidad de reconocer cualquier aspecto que se pueda generar en relación con los análisis ejecutados. De manera complementaria a ese manejo de conceptos, se deben realizar entrevistas, observaciones en campo e inspecciones, para generar una descripción detallada de cada una de las etapas que componen el proceso.

Una vez obtenida la información, la técnica permite ordenar el procedimiento de manera secuencial e identificar tiempos muertos, costos ocultos, duplicidad de funciones, entre otros, en virtud de depurar el procedimiento base que se ha adoptado para su ejecución.

El tabulado de las actividades, tareas, equipo necesario, mano de obra requerida, entre otros, debe ser claro, con terminología sencilla y sobre todo debe definir de manera veraz qué se debe hacer, cómo hay que realizarlo, quién lo va a ejecutar y cómo se va a hacer el control de calidad de las labores realizadas.

La implementación de un documento como este permite el cumplimiento de normas, la comprensión total del proyecto, la introducción de nuevo personal, la identificación de discontinuidades, pero sobre todo la estandarización de las obras que se analizan, de manera que cualquier persona que ingrese vea el procedimiento, lo comprenda y lo pueda repetir sin problema alguno

La investigación no es un tema ajeno a esta técnica, ya que permite desarrollar los procesos de observación en cualquiera de sus direcciones así como la implementación de nuevas tareas, equipos, responsables, etc, siempre con la finalidad de depurar cada vez más el proceso en estudio.

Es importante que el documento integre cuadros, imágenes, gráficos o tablas que permitan el acceso a la información de manera clara y veraz, para garantizar que su aplicación sea conseguida en un alto porcentaje.

En sí, el mapeo de proceso es una útil herramienta que permite documentar un procedimiento que antes estaba abierto, definir sus alcances y ejecutar un control de calidad sobre un proceso de fabricación estándar, ya que la cuantificación de la eficiencia y eficacia está directamente relacionada con el nivel de homogenización del proceso a analizar.

Metodología

En aras de alcanzar los objetivos definidos para el proyecto, se detalla a continuación la metodología utilizada en cada una de las tres fases que componen el trabajo:

Fase 1: Propuesta de mejora de la estructura de soporte.

La publicación de licitaciones para la construcción de tanques elevados metálicos de 150 m³ de capacidad, con un diseño que obedece a una estructura con columnas y arriostres horizontales de área transversal cuadrada y rectangular, ha sido una constante en los últimos diez años en el AyA, en los cuales este planteamiento se ha utilizado en reiteradas ocasiones; de tal forma que el beneficio para la institución no es el deseado.

La utilización de este diseño acarrea una serie de cuestionamientos de índole constructivo, estético, de mantenimiento, de mano de obra necesaria e inclusive de disponibilidad de elementos en el mercado nacional, los cuales hacen esta consideración estructural menos fuerte que otras opciones, por ejemplo, usar columnas de tubo redondo.

La naturaleza de cualquier avance persigue la identificación y suma de aspectos positivos, que finalmente se traducirán en mejoras sustanciales de un fin buscado.

La intención principal busca modificar las columnas principales y los arriostres horizontales para migrar de elementos compuestos, los cuales son fabricados a partir de otros más sencillos, a elementos simples, de manejo y fabricación mucho más expeditos que los considerados en el diseño inicial, con la intención de beneficiar el procedimiento de fabricación a realizar, influir en su costo y calidad de las obras y finalmente generar un valor agregado al proyecto, en beneficio de la Institución.

Fase 2: Revisión estructural del planteamiento.

Una vez analizada la problemática que representa la construcción engorrosa de una buena parte de los elementos de la estructura y planteada una propuesta de cambio para la mejora del tanque, se procede a elaborar la revisión estructural de la modificación ejecutada, con la finalidad de revisar su capacidad de soporte y verificar que las secciones propuestas cumplan con los requerimientos definidos en la teoría del diseño de obras de acero. Para lograr lo anterior, el análisis se apoya en el programa *SAP2000* de estudio de estructuras y en la revisión de la capacidad de los elementos; se realiza según lo definido en la normativa *AISC (American Institute of Steel Construction)* y en el *Código Sísmico de Costa Rica 2010* del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.

Dentro del análisis de la estructura de soporte del tanque (torre), se consideró la permuta de las columnas principales, los arriostres horizontales, y los arriostres inclinados, lo anterior con la finalidad de determinar que con los cambios realizados, permanezca resistiendo las fuerzas involucradas en la estructura

Fase 3: Diseño del proceso constructivo estándar de tanques elevados.

Durante esta etapa, el trabajo inicial correspondió a una pequeña investigación realizada con la finalidad de identificar cuáles empresas realizan la construcción de obras similares para el Instituto, en un periodo de diez años atrás. Dicho intervalo de tiempo coincide con la aplicación sistemática en reiteradas ocasiones del diseño estructural del tanque que es objeto del presente trabajo.

Para lograrlo, se realizó una entrevista el primer día del mes de agosto del 2018 en la Proveeduría Institucional del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, con la finalidad de acceder a la información de actos de adjudicación de obras similares de una manera clara y veraz. La información requerida se obtuvo mediante consulta directa en Proveeduría y se analizó en un cuadro recopilatorio de datos sobre los proyectos construidos en el pasado.

Una vez identificadas las constructoras que se encargaron de manera frecuente de este tipo de obras, se diseñó estratégicamente un cuestionario de preguntas con la finalidad de aplicarlo y obtener de primera mano la información necesaria para generar un panorama global del proceso de fabricación de tanques elevados y los aspectos que en él intervienen. La totalidad de las herramientas de recopilación de información debidamente llenas, se pueden observar en los *Apéndices 1 y 2*.

Basado en el análisis de la información anteriormente descrita, se realizaron visitas programadas a los talleres de fabricación de estructura metálica de los cuatro contratistas recurrentes en el AyA para este tipo de obras, los cuales cuentan con la experiencia, infraestructura y capacidad necesarias para realizar proyectos de metalmecánica similares e inclusive de mayor envergadura. Dichas inspecciones se realizaron entre el 06 y el 20 de agosto del año en curso y es importante recalcar, que una de las empresas visitadas corresponde a la constructora adjudicada para la licitación del proyecto en cuestión, por lo que se aprovechó la visita para realizar el levantamiento de su infraestructura, maquinaria, equipo y herramienta, con la finalidad de considerar dicha información como un insumo para la formulación del procedimiento de construcción. Cada entrevista contempló una visita de inspección de infraestructura, así como la aplicación del formulario de preguntas preestablecidas para la recolección y posterior procesamiento de la información recolectada.

Las empresas consideradas en el análisis son: Fernández & Vaglio Constructora, CODOCSA, Industrias Bendig S.A. e INTEC Internacional S.A., cuyos talleres de fabricación se ubican en Purral de Guadalupe, Santo Domingo de Heredia, Gravilias de Desamparados y Taras de Cartago respectivamente. Ellas son las que han abarcado un porcentaje muy cercano al 100% de la fabricación de obras similares en los últimos 10

años dentro del AyA, por lo que se centralizó la investigación en conocer su metodología de trabajo, recursos disponibles, mano de obra e infraestructura, cultura de seguridad ocupacional, entre otros, con la finalidad de identificar cada proceso constructivo, comparar sus diferencias y similitudes y a partir de esa información, formular un procedimiento estándar de fabricación de tanques metálicos elevados de almacenamiento de agua potable, el cual pueda ser aplicado en cualquier otro proyecto similar, por parte de cualquier otra empresa constructora, con la ventaja de que reunirá los procedimientos óptimos para cada etapa de la construcción de las estructuras y así mejorar la calidad y tiempo de fabricación de estas.

Existe un elemento fundamental dentro del procedimiento de construcción, sobre el cual se recarga la obtención de productos de calidad; dicho aspecto corresponde a la inspección.

En virtud de lo anterior y una vez obtenidos los resultados del diseño del proceso de construcción optimizado, se realiza la incorporación de los alcances de inspección y control de calidad de tanques metálicos elevados, el cual detalla qué aspectos se deben verificar en cada una de las etapas del proceso de fabricación de las estructuras, con la finalidad de documentar y respaldar de manera técnica, el avance del proceso constructivo.

A continuación, se describen de manera más amplia todas y cada una de las fases que componen el trabajo de investigación:

Fase 1: Propuesta de mejora de la estructura de soporte

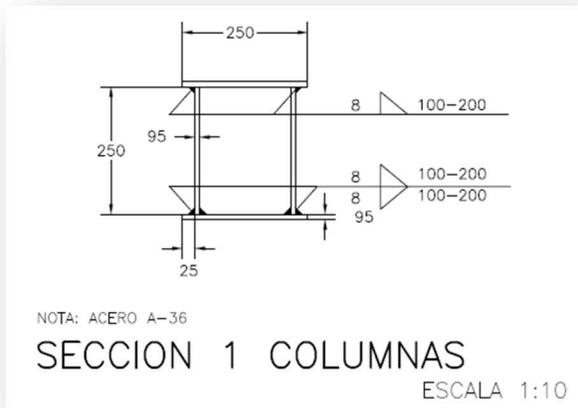
Con base en la información obtenida mediante las entrevistas descritas al inicio de este apartado, se realizó la recopilación de los puntos de interés para el análisis del problema y el planteamiento de su solución.

Las experiencias anteriores con este tipo de estructuras, generan una serie de vivencias en las empresas constructoras sujeto del análisis, las cuales están asociadas principalmente a una serie de problemas constructivos generados por la elaboración de parte de los elementos que conforman la estructura de soporte del proyecto

descrito, los cuales respaldan la propuesta para sustituir su uso por elementos de más fácil manipulación, elaboración y procesamiento.

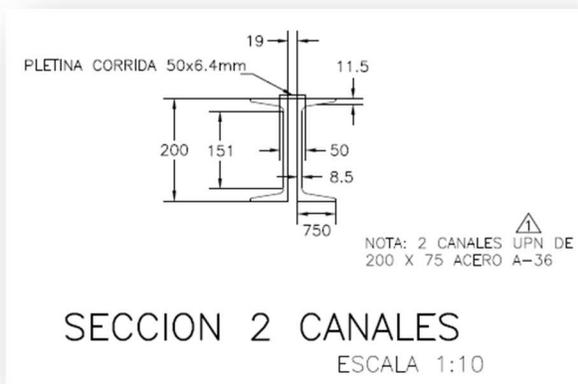
Como se observa en las Figuras 1 y 2, la estructura de soporte del tanque utiliza dentro de su concepción dos elementos cuya fabricación desde un inicio se antoja complicada, en virtud de su configuración geométrica, ellos son las columnas principales y los arriostres horizontales.

Figura 1. Sección transversal de las columnas.



Fuente: tomado de los planos del proyecto.

Figura 2. Sección transversal de los arriostres horizontales.



Fuente: tomado de los planos del proyecto.

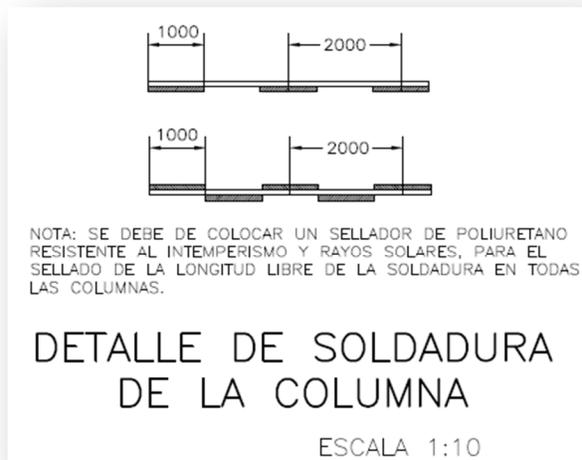
Por un lado, las columnas están compuestas de cuatro platinas de acero colocadas de manera ortogonal, hasta encerrar un área de 250 por 250

mm de la figura, mientras que los arriostres horizontales se componen de un arreglo de elementos todavía un poco más complejo, formado por dos canales UPN 200x75 unidos por la espalda (lado recto) y separados entre sí por una distancia de 19mm (3/4") con una chapa superior de pletina de 50mm corrida a lo largo del elemento.

Desde su concepción misma, el planteamiento representa un problema desde el punto de vista constructivo, ya que, en el caso de las columnas, existe una longitud importante sobre la que se debe suministrar soldadura discontinua (según la indicación de la Figura 3), cuyo calor de aplicación genera deformaciones importantes a considerar y permite la formación temprana de corrosión en las zonas desprovistas de cordón de soldeo, donde existe alta probabilidad de la aparición de oxidación del metal. Para atacar este problema se define el uso de un sellador epóxico a base de poliuretano en la longitud libre de soldadura, sin embargo, este aditamento ha demostrado a través del tiempo que es efectivo durante un corto tiempo, ya que el intemperismo lo degenera volviendo al problema original del inicio temprano de corrosión.

Por su parte, las secciones de los arriostres horizontales no escapan a esta realidad, ya que presentan problemas complejos de ejecución de los cordones definidos en planos en la cara interna de estos, así como de sellado de ingreso de humedad en dicha área, lo que, aunado a poca penetración de la pintura de protección, se convierte en una zona propensa a la aparición de corrosión elevada y erosión temprana de la estructura. Sin mencionar que el calor de aplicación de la soldadura nuevamente genera deformaciones importantes en los elementos, en los cuales es aún más visible en función de su longitud.

Figura 3. Detalle de soldadura de columnas.



Fuente: tomado de los planos del proyecto.

En virtud de lo anterior, se propone eliminar dichos elementos y sustituirlos por tubos redondos de acero A-53 grado B similares a los empleados en los arriostres inclinados (*Figura 4*), con la finalidad de generar un cambio positivo en la estructura a construir, reflejado en la disminución de horas hombre y horas máquina en la fabricación de elementos, en la prevención de problemas constructivos en el desarrollo de la estructura y en su vida útil e inclusive, en la estética del proyecto, al contar con una estructura de soporte uniforme, que evita la mezcla de diferentes áreas transversales de elementos redondos, cuadrados y rectangulares.

Figura 4. Sección transversal de los arriostres inclinados.



Fuente: tomado de los planos del proyecto.

Fase 2: Revisión del planteamiento estructural

Definición de secciones y cargas.

Partiendo de los elementos definidos en planos del proyecto, tal y como se observa en las *Figuras 1, 2 y 3*, y contemplando la problemática generada en relación con su fabricación y operación, se realiza la propuesta del cambio de los miembros anteriormente citados por los que se indican a continuación en el *Cuadro 1*. El planteamiento de los elementos se realiza en base a miembros utilizados en el pasado y a lecciones aprendidas, todos en proyectos similares anteriores construidos por el AyA.

CUADRO 1. ELEMENTOS DE ACERO PROPUESTOS PARA EL CAMBIO DE LA ESTRUCTURA.			
Miembro	Elemento propuesto	Ø Exte (mm)	Espesor de pared (mm)
Columnas	Tubo redondo 12 pulg SCH 40, A53, Gr B	323,85	0,95
Arriostres horizontales	Tubo redondo de 8 pulg SCH 40, A53, Gr B	199,39	8,18
Arriostres inclinados	Tubo redondo de 8 pulg SCH 40, A53, Gr B	199,39	8,18

Fuente: elaboración propia con base en el catálogo de venta y consulta de productos de Aceros Roag S.A.

Considerando los nuevos elementos, el punto de partida fue la elaboración de un modelo estructural para realizar el análisis sísmico de la estructura de soporte, incluyendo el peso del agua y del reservorio como carga permanente apoyada gravitacionalmente en los puntos de contacto (ménsulas de apoyo) tanque–estructura, además, del peso propio de la estructura y por último el resultado del sismo aplicado sobre todos los anteriores. La información utilizada para realizar la modelación de la estructura, se obtuvo de los planos estructurales y de las especificaciones técnicas incluidas en el cartel de licitación del proyecto, mismos que son proporcionados por el AyA.

El modelo está concebido en unidades de kilogramo fuerza y metro y las propiedades físicas de las secciones utilizadas se establecen de acuerdo a las definidas en los Cuadros 1 y 2 respectivamente. No obstante, para realizar el análisis de los elementos críticos y verificar el cumplimiento de las solicitudes respectivas, específicamente para la obtención de tablas de fuerzas, las unidades se modifican a toneladas fuerza y metros.

CUADRO 2. PROPIEDADES DE LOS MIEMBROS DE ACERO A-53 GRADO B UTILIZADOS EN EL MODELO	
Propiedad	Valor
Esfuerzo de fluencia (F_y)	3250 kg f/cm ²
Esfuerzo de ruptura (F_u)	4485 kg f/cm ²
Módulo de elasticidad (E)	2038900 kg f/cm ²
Densidad (ρ)	7850 kg f/m ³

Fuente: elaboración propia con base en el catálogo de venta y consulta de productos de Aceros Roag S.A.

Una vez definidas las premisas de carga, las secciones a utilizar y las propiedades de estas, se procede con el dibujo de los diferentes componentes de cada marco de carga, según las dimensiones establecidas en los planos constructivos. El producto obtenido se muestra en la Figura 5, donde la dirección de los ejes cartesianos define según se indica en la imagen.

Es importante mencionar que se definió un nodo 2,33 metros por encima del nivel superior de la estructura de soporte (centroide longitudinal de aplicación de la carga dentro del cilindro) para colocar en ese punto los efectos causados por el sismo sobre las masas de agua y del reservorio. El nodo se unió a los puntos más elevados de cada una de las seis columnas de la estructura y a los tres puntos de contacto intermedio (todos puntos de soporte del tanque), mediante un diafragma rígido, para así garantizar la transmisión efectiva de cargas del punto de aplicación de estas a la torre.

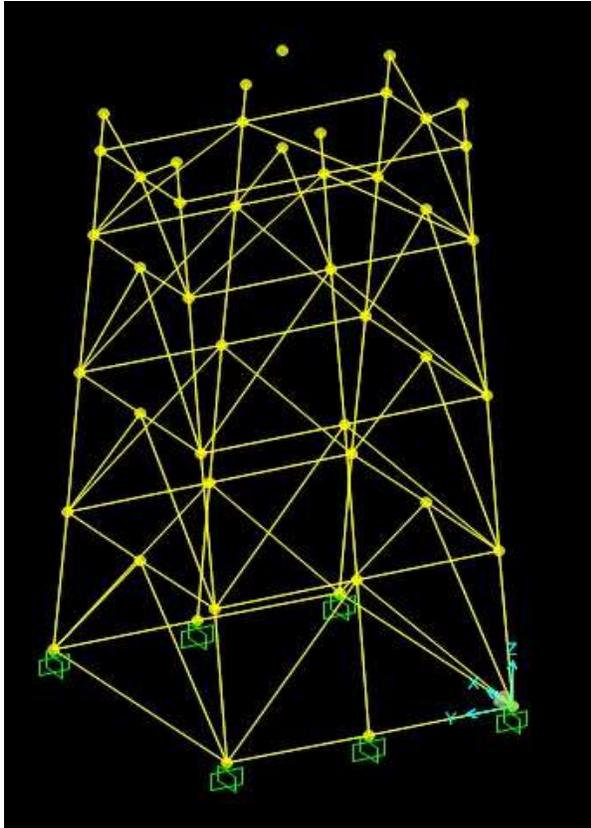
La modulación del tanque parte del hecho que dicha estructura es un cuerpo sólido de fijación indeformable, sobre el cual actúan una serie de fuerzas. Con la intención de no representar el tanque, sino solamente su condición de ser una masa rígida, se implementa la utilización de un diafragma rígido, el cual posee esa misma capacidad de indeformabilidad.

Lo anterior, se realiza con la finalidad de rigidizar todos los planos horizontales que participan en la transferencia de cargas involucrada en la estructura y que todos los puntos de contacto entre el tanque y la estructura se muevan de la misma manera, tal y como ocurre con el tanque.

Como se estila en este tipo de obras, la carga temporal es baja y poco significativa, ya que se considera que su incidencia ocurre solamente durante el momento en el que se limpia o pinta la estructura completa, como parte de un plan de

mantenimiento. Por ende dicha variable se obvia dentro del análisis respectivo de la estructura.

Figura 5. Modelo de la estructura de soporte.



Fuente: SAP2000.

Los valores de carga por peso propio utilizados para la definición del modelo de la estructura se definen en el Cuadro 3. En el Apéndice 7 se muestra la memoria de cálculo para la determinación de los pesos correspondientes.

CUADRO 3. CÁLCULO DE PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA SEGÚN LOS ELEMENTOS PROPUESTOS	
Componente	Peso (kg)
Estructura de soporte	20200
Reservorio	16000
Total	36200

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados.

Cálculo del coeficiente sísmico.

Al realizar el análisis estático de una estructura determinada mediante la utilización de algún software especializado para el estudio de la misma (SAP2000 en este caso), es preciso determinar la definición de las condiciones y consideraciones sísmicas de dicho sistema y su entorno, sin omitir su caracterización en función de su tipología constructiva. Todo esto, según el procedimiento descrito en el Código Sísmico de Costa Rica 2010 para tal fin. El Cuadro 4 enumera los aspectos indispensables para el cálculo del coeficiente sísmico asociado a la estructura del proyecto y su entorno de desarrollo.

CUADRO 4. ASPECTOS ASOCIADOS A LA DEFINICIÓN DEL ESPECTRO DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.

Aspecto	Definición	Referencia en el CSCR 2010
Sistema estructural	Tipo voladizo	Sección 4.2.4
Importancia de la estructura	Estructura tipo A (esencial) 1,25	Tabla 4.1
Regularidad	Regular en planta y altura	Sección 4.3
Zona sísmica	III	Sección 2.1
Tipo de suelo	S3	Sección 2.2
Aceleración efectiva	0,36	Tabla 2.3
Ductilidad local	Óptima	-
Ductilidad global (μ)	1,5	Tabla 4.3
Sobrerresistencia	1,2	Capítulo 5
Periodo en el eje X	0,2956 s	Tomado de SAP2000
Periodo en el eje Y	0,4518 s	Tomado de SAP2000
FED en X	1,768	Figura 5.7
FED en Y	1,768	Figura 5.7

Fuente: Código Sísmico de Costa Rica 2010 y SAP2000.

Contemplar la naturaleza de la estructura analizada y la zona en la operará durante su vida útil, es de vital importancia para definir las premisas insumo para la definición del espectro de diseño sísmico de la estructura. Según la clasificación de los sistemas estructurales de la sección 4.2. del *CSCR2010* (en su apartado 4.2.4), se define claramente que los tanques elevados corresponden a estructuras tipo voladizo, por lo que se define de esa manera el sistema estructural del proyecto. La configuración estructural de la obra, donde se posee una masa elevada y apoyada sobre una estructura de soporte, ocasiona que sea considerada como un péndulo invertido, cuya premisa corresponde al tipo de estructura seleccionado.

Por su parte, en la tabla 4.1 del capítulo de *Clasificación de las estructuras y sus componentes* del mismo *Código*, se determina que el tipo de estructura analizada corresponde a una ocupación que se debe mantener en operación en caso de una emergencia, según su importancia. Por lo tanto, un tanque de almacenamiento de agua potable implica una estructura del Grupo A o esencial, cuyo factor de importancia de 1,25 se define en el *Cuadro* anterior y se justifica según su uso.

Por otra parte, según la ubicación geográfica del lote propiedad del *Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados* donde se construirá el proyecto –distrito de Llanuras de Gaspar del cantón de Sarapiquí, ambos pertenecientes a la provincia de Heredia– la zona sísmica está catalogada como tipo III, según la sección 2.1 del *CSCR2010*. Además, según el documento público *Estudio de Suelos* realizado por la empresa *Castro & De La Torre Ingenieros Consultores* y fechado el pasado 10 de agosto del 2016, el tipo de suelo determinado en la zona se clasifica como Tipo S3. Es importante mencionar que dicho estudio es parte de los insumos suministrados al contratista como parte de los requisitos necesarios para la inscripción de las pólizas de seguros necesarias para el inicio de los trabajos.

Al tratarse de una estructura nueva, la ductilidad local asociada es óptima, si se considera ese dato, el sistema estructural detallado en párrafos anteriores y la tabla 4.3 del *CSCR2010*, se obtiene una ductilidad global asignada de 1.5, según se indica en el *Cuadro 4*. En el Capítulo 5 del *Código* supracitado, se define que el factor de sobrerresistencia asociado al sistema estructural es de 1.2.

Por último, una vez obtenidos los periodos que aportan la mayor participación de masa en los ejes X y Y, se calcula un FED en cada caso, con la finalidad de compararlos.

Una vez obtenidos los datos anteriormente enumerados, se procede con el cálculo del coeficiente sísmico de la estructura, según se indica a continuación:

$$CS = \frac{a_{ef} * I * FED}{SR} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

a_{ef} : aceleración pico efectiva.

I : factor de importancia de la estructura.

FED : Factor espectral dinámico.

SR : factor de sobrerresistencia.

Modelo estructural.

Tomando como base los datos calculados en el apartado anterior y los obtenidos de las *Ecuaciones 2, 3, 4 y 5* definidas en el marco teórico, se realiza la inclusión de todos los datos en el programa computacional respectivo para su correspondiente procesamiento y obtención de resultados buscados.

La carga del efecto producido por el sismo en la masa del reservorio y del agua que éste contenga (todas elevadas sobre la estructura de soporte), se colocó en el nudo definido 2,33 metros –magnitud del radio del tanque– por encima del nivel superior de la torre y en el centro geométrico del tanque. Es en ese punto, es decir, en el centroide de masa del contenedor, donde actúan los efectos de aceleración que imprime el sismo sobre la masa del tanque, la masa de agua contenida en éste y sobre la masa de la estructura soportante, lo que justifica su localización en el análisis.

La carga gravitacional correspondiente a la estructura de soporte se diluyó en la totalidad del número de nodos generados en ella, ya que la convergencia de elementos provenientes de varias direcciones (columnas y arriostres horizontales e inclinados) es la condición que genera que en cada nudo se verá reflejada la sollicitación del sismo sobre el peso propio de la torre soportante.

El empuje de viento se trasladó a los puntos de contacto entre el tanque y la estructura de soporte, es decir, a las ménsulas de apoyo. Lo anterior se realizó considerando que la mayor incidencia del viento se manifiesta sobre el área del reservorio (considerada como un rectángulo) y esta a su vez traslada el aporte del empuje y la succión producidos a los puntos de descarga mencionados con anterioridad.

En el caso de la carga de viento, los valores del $q_{\text{básico}}$, el coeficiente de topografía (C_t) y el coeficiente de uso (C_{uso}) fueron tomados según se indica en el *Reglamento de Construcciones de Costa Rica*. Además, el coeficiente de presión de diseño (q_d) también se toma de dicho documento considerando una estructura grupo A. El factor de forma se tomó del *Manual de diseño de obras civiles mexicano*.

Así entonces, la modulación de la estructura en el programa computacional incluye el peso propio de la estructura soportante, el peso generado por el volumen de agua total del tanque y el peso del reservorio metálico, todos contemplados como carga muerta, además el empuje del viento y por último, el efecto del sismo producido en la estructura de soporte, en la masa metálica elevada del reservorio y en la masa de agua contenida en este.

Revisión de la capacidad soportante de los elementos.

La determinación de la capacidad soportante de los miembros se realizó determinando los elementos críticos de la estructura de soporte, divididos en tres grandes grupos. Estos son: columnas, arriostres horizontales y arriostres inclinados.

Es importante mencionar que en el caso de las columnas y los arriostres horizontales, la poca variación de longitud entre cada uno de estos elementos, según sea su tipo (entre 3,68 y 4,19 metros en las columnas y entre 5,40 y 5,70 metros los arriostres horizontales de toda la estructura), permite asociarlos en grupos similares para su respectivo análisis y verificación de cumplimiento. No ocurre lo mismo con los arriostres inclinados, donde su amplia gama de longitudes –las cuales varían entre las dos fachadas de la estructura hasta en cuatro metros–

obliga a realizar el análisis en dos etapas, según el metraje de cada miembro analizado.

El análisis de las columnas se hará en un solo tramo, al igual que los arriostres horizontales de toda la torre. En el caso de los arriostres inclinados, los elementos respectivos a la fachada *Norte–Sur* hasta los 4,15 metros de altura (segundo nivel) se hará junto con sus homólogos de la fachada *Este–Oeste*, como consecuencia de su similitud en longitud. Naturalmente, el resto de los elementos de la estructura –niveles 3 y 4 de la fachada *Norte–Sur*– tendrán su revisión diferida según corresponda.

La escogencia de los elementos más esforzados se realiza con base en los requerimientos de carga axial, cortante, torsión y momento flector, derivados de las tablas de resultados obtenidas del programa y la comprobación de resistencia a los fenómenos recién mencionados, se llevó a cabo según la filosofía y ecuaciones definidas en el marco teórico del presente trabajo.

Fase 3: Diseño del proceso constructivo estándar de tanques elevados.

El diseño de un proceso de desarrollo planificado de cualquier actividad en particular –sobre todo en construcción– supone una herramienta fundamental que debe desarrollar cualquier profesional, para garantizar el éxito de su gestión. Visto desde otro punto focal, la planificación de un proceso constructivo es un insumo fundamental en la toma de decisiones acertadas, pues dicho aspecto marca la pauta en el camino a seguir y de él depende que cada actividad sea ejecutada en espacio físico y temporal adecuado, de acuerdo con la experiencia acumulada en actividades similares.

Una planificación ejecutada de manera responsable, debe potencializar los puntos fuertes de un proceso constructivo de una empresa, a la vez que presta especial atención a las limitaciones con las que se cuenta, pues dichos elementos pueden influir de forma contraproducente en la ejecución de una obra o parte de esta.

Es de vital importancia dimensionar todas las variables que intervienen en el proceso de construcción, de manera que se genere una perspectiva integral de este y se identifique cualquier aspecto que lo pueda afectar. Es decir, se deben considerar aspectos como mano de obra, equipo y maquinaria, limitantes en planta, limitantes de transporte (para definir hasta qué punto se debe armar la estructura para su movilización), limitaciones en sitio, seguridad ocupacional, entre las más importantes. Las visitas realizadas a las empresas supra mencionadas, se realizaron con la intención de buscar la información necesaria para adecuar un proceso estándar de fabricación, tal como logística de fabricación, mano de obra involucrada, equipo y herramientas, restricciones de espacio en taller y restricciones de carga y transporte. Una vez definido el proceso de construcción y sus etapas, se establece dentro de este el tipo inspección a realizar y su periodicidad por cada una de dichas fases.

A continuación, se detallan los ejes de investigación abordados:

Logística de fabricación de la estructura.

En el caso de las cuatro empresas analizadas, las visitas en planta y las entrevistas con los ingenieros encargados de la fabricación en planta para la aplicación del cuestionario, permitieron determinar una logística de fabricación particular por empresa, mismas que resultan bastante similares tanto en trabajo en sitio, como en trabajo en taller de fabricación, estas respetan un orden de fabricación mayoritariamente homogéneo y similar, compuesto principalmente por tres frentes de trabajo en taller y uno en sitio, que desarrollan trabajos paralelos que abarcan las diferentes subestructuras que componen la megaestructura. La carga de trabajo de las últimas actividades descritas es absorbida por el personal de trabajo en taller en los diferentes momentos del avance de las obras.

Mano de obra involucrada.

El abordaje de este punto en específico se realizó mediante las mismas recepciones descritas con anterioridad y la aplicación de las preguntas preestablecidas, de manera que fue posible verificar la asignación histórica del personal a los proyectos similares construidos en los últimos 5 años para cualquier cliente. Una vez obtenida la información, se levantó una lista de manera manual de la cantidad y tipo de recurso humano (maestro de obras, soldador, operario, ayudante, etc) asignado a cada tarea o actividad del proyecto. Nuevamente la cantidad de recurso humano asignado por obra responde a un patrón bastante similar en cada una de las empresas consultadas, por lo que se puede hablar en buena medida de una lista de colaboradores promedio por frente de trabajo.

Equipo y herramientas.

De manera similar a los dos apartados anteriores, la inspección a cada una de las empresas objeto de la investigación, sirvió para constatar la existencia de una serie de herramientas y equipos básicos para trabajos de metalmecánica, así como algunos otros instrumentos especializados (cortadores de plasma, guillotinas, roladoras de metal, entre otros) que poseen algunas de las constructoras visitadas. En este punto se registró la mayor cantidad de diferencias, ya que algunas de las empresas poseen una mayor cantidad de equipamiento con respecto a las demás, las cuales deben subcontratar algún servicio en específico. Una vez identificada la totalidad del equipo encontrado en taller, se levantó una lista manual del mismo con la finalidad de utilizarla en el diseño final del proceso productivo.

Restricciones de espacio en taller.

Con la finalidad de identificar las limitaciones con las que cuenta cada una de las empresas estudiadas, se visitó el plantel de fabricación de cada una de estas, para así verificar las condiciones del área de trabajo, accesos y área de carga y descarga para ejecutar las labores. Ninguna de las empresas presenta problemas

significativos de espacio, ya que los lugares destinados a la fabricación de obra metálica son suficientemente amplios, con áreas de accesos significativas y posibilidad de carga y descarga de diferentes maneras.

En el caso de la empresa CODOCSA (contratista de la obra), se realizó una medición mediante cinta métrica de la planta de producción, así como de la zona de preparación de superficie para la aplicación de pintura. En el caso de la primera, posee un área de 1200m² para los trabajos de metalmecánica, mientras que la nave industrial de pintura mide unos 950m². Adicionalmente cuenta con una zona de patio de maniobras cercana a los 4000m², la cual puede ser utilizada para carga, manipulación y resguardo de estructura, etc. En la *Figura 6* se observa la distribución en planta del área de trabajo descrita.

Figura 6. Distribución en planta del predio y oficinas de la empresa CODOCSA



Fuente: fotografía aérea suministrada por la constructora.

Restricciones de transporte.

Uno de los puntos fundamentales a considerar en la planificación del proceso productivo, es la necesidad de cargar y transportar las diferentes partes de la megaestructura de manera adecuada y apegada a la normativa vigente sobre el tema, es decir, el tema del transporte definirá en buena parte hasta qué punto se debe armar en taller cualquier estructura metálica para su traslado.

En este país el transporte de carga está regido por el *Reglamento de circulación por carretera con base en el peso y las dimensiones de los vehículos de carga*, de donde se extrae la información consignada en el *Cuadro 5*, según sea el vehículo utilizado. Las visitas realizadas a los cuatro oferentes fueron aprovechadas para investigar qué tipo de vehículo es utilizado generalmente para trasladar la carga (sea propio de la empresa o contratado); y se logró identificar que el automotor comúnmente usado es un T3-S2, mismo que corresponde a un camión con semirremolque articulado, cuya plataforma posee 2,44 metros de ancho, 1,50 metros de altura en promedio y largos que van desde los 16 hasta los 21 metros de longitud. Para el caso del reservorio, se utiliza el mismo vehículo con un semirremolque de 0,50 metros de altura, conocido como "lowboy". El *Reglamento* mencionado con anterioridad, estipula que se debe solicitar ante la autoridad de tránsito competente un permiso especial de rodamiento cuando se transporten cargas que sean de mayor peso o dimensión a las máximas permitidas, por lo que, de ser necesario, se debe proceder según lo dicta la ley. Con base en la información recopilada en la investigación, pocas veces es necesaria la solicitud de la autorización.

CUADRO 5. FACTORES DE PESO Y DE DIMENSIONES MÁXIMOS SEGÚN EL TIPO DE VEHÍCULO DE CARGA UTILIZADO

Vehículo	Peso máx (kg)	Long máx (m)	Altura máx (m)	Ancho máx (m)
Camión sin remolque (con plataforma propia)	12000	12	4,15	2,60
Camión con remolque pesado (C2-R1)	8500	21	4,15	2,60
Tractocamión con semirremolque (T3-S2)	22500	21	4,15	2,60
Tractocamión con doble semirremolque (T2-S1-S1)	12000	21	4,15	2,60

Fuente: Reglamento de circulación en carretera con base en los pesos y las dimensiones de vehículos de carga.

Seguridad y salud ocupacional.

Gracias a la aplicación de las encuestas en las compañías contempladas en el análisis, fue posible conocer y verificar los aspectos, prácticas y cultura relacionados a la intención de velar por la salud de los colaboradores de cada empresa.

Una vez analizados los aspectos obtenidos en la investigación, se levanta una lista de los puntos asociados con el tema dentro de la organización laboral de cada empresa, tales como arraigo de la cultura de seguridad, actividades abarcadas, equipo de protección, profesional a cargo, normativa interna, sanciones aplicadas, etc, con la finalidad de compararlos con la normativa nacional vigente y evaluar el trabajo desarrollado hasta el momento.

De manera complementaria se utilizó la información para definir el equipo de protección necesario y los aspectos de seguridad establecidos para el manejo del sitio de trabajo en cada caso y definir así el correspondiente al proceso de diseño.

En este caso la normativa vigente a nivel nacional es el *Reglamento de seguridad en*

construcciones y sus decretos, modificaciones y nomas adicionales vigentes (dentro del que figura el decreto 11074-TSS del 05 de mayo de 1980). Cabe destacar que las normas INTE ISO 11228-1 e INTE 31-09-15-00 también figuran dentro de las referencias competentes, sin embargo, no son de acatamiento obligatorio.

Diseño del proceso constructivo.

Una vez procesada la totalidad de la información obtenida durante la investigación de campo y profundizando en el marco conceptual integral para el mejoramiento de la productividad en la construcción, el cual está basado en estrategias y metodologías para el desarrollo de la eficiencia y de la eficacia de las técnicas de producción, se plantea el proceso de construcción estándar para la estructura, mismo que involucra una serie de mejoras identificadas para cada caso y que se condensan en una sola propuesta integral, capaz de repetirse en cualquier momento y generar una serie de beneficios de mejora en consumo de tiempo y mano de obra, con base en la depuración de técnicas prestablecidas en la construcción de obras similares, lo que finalmente se traduce en una potenciación positiva del costo asociado a la obra.

La técnica para el manejo de la productividad, eficiencia y eficacia conocida como *mapeo de procesos*, avala la instauración de procedimientos de producción en general, a partir de la documentación de la repetición de métodos que están precedidos de resultados favorables y que pueden ser respaldados. Por lo tanto, la propuesta de un procedimiento de producción basado en actividades y tareas que han sido analizadas y repetidas en distintas ocasiones a lo largo del tiempo, es válida y viable.

La premisa anterior sienta un precedente para la formulación y propuesta del proceso buscado, una vez documentados y analizados los datos obtenidos de producción, mano de obra, equipo, inspección y seguridad y salud ocupacional, que se reflejan en las obras, para así definir qué se debe hacer, cómo se ha de ejecutar y quién lo elaborará de la manera establecida. Para la formulación de un plan de acción, los conceptos de investigación están asidos a la literatura disponible sobre el tema y según las disposiciones generales definidas en la *Guía técnica para normar y elaborar manuales y procedimientos*

institucionales del AyA, la cual define de manera clara cada etapa del proceso de investigación y análisis de datos, así como la formulación de un método estandarizado.

Para la definición de los parámetros de aceptación de soldadura y pintura, así como para la definición de los requisitos previos a la etapa constructiva, se utilizó la normativa internacional que rige los temas descritos, a saber: SSPC (*Society of Protective Coating*), ASTM (*American Society of Testing Materials*), AWS (*American Welding Society*), AWWA (*American Water Works Association*) y ASME (*American Society of Mechanical Engineers*).

Es importante mencionar que en el proyecto promovido por el AyA se construirán dos tanques metálicos elevados idénticos. Para garantizar que la ejecución del proceso constructivo es viable y veraz, se realizó la programación del proyecto contemplando la construcción de las dos estructuras en forma paralela, tomando como base la duración de cada actividad externada por el contratista adjudicado de la obra, es decir, CODOCSA, según las experiencias anteriores de este en obras similares. Lo anterior con la intención de comparar el resultado obtenido con el periodo de ejecución de obra definido en el cartel de licitación.

Resultados

En los siguientes apartados se describen los resultados obtenidos durante la elaboración del trabajo.

Fase 1: Propuesta de mejora de la estructura de soporte.

La información obtenida del análisis de los datos recopilados en las visitas programadas para la aplicación de la encuesta, es clara en manifestar que el planteamiento, uso y construcción de las columnas y arriostres horizontales originales del diseño de la estructura del tanque, representa un problema constructivo serio a la hora de fabricar la estructura.

A continuación, se describen a fondo los principales problemas encontrados a la hora de hacer frente a la elaboración de los elementos descritos en los planos originales:

- **Deformaciones de elementos.** La aplicación de cordones de soldadura discontinuos en los cuatro costados del elemento propuesto como columna, genera una cantidad de calor de aplicación de soldadura importante, en función de la energía necesaria para llevar a cabo la generación del arco eléctrico para derretir el electrodo de soldadura propuesto en los planos constructivos, el cual es E-7018 (según el cuadro de Notas Generales de la lámina 14/18 de los planos oficiales). Dicha barra corresponde a un electrodo de penetración alta y gran resistencia y desempeño en soldaduras estructurales. Su requerimiento de energía es alto, lo que finalmente se traduce en un calor de aplicación alto, lo que a su vez genera una concentración alta de calor en la zona donde se aplica. Si se toma en cuenta la gran cantidad de soldadura por aplicar en los cuatro costados de los elementos; finalmente se obtiene una deformación importante del metal

debido a la aplicación de cordones, la cual incluso en algunos casos supera el límite de deformación definido en planos de 5 milímetros de desviación por excentricidad, si se considera la longitud total de la columna. El fenómeno se presenta aún y cuando la aplicación de cordones se realiza de manera intercalada y en diferentes tramos de la longitud. La *Figura 7* muestra el tramo superior de llegada de una columna al reservorio, donde se observa la gran cantidad de concentración de soldadura en un área reducida y la dificultad para su aplicación, ya que la profundidad a la que se debe ejecutar la soldadura evita consumir la totalidad del electrodo y obliga a usar solamente parte de estos.

Figura 7. Soldadura aplicada en la parte superior de una columna cuadrada.



Fuente: captura propia durante la inspección del proyecto del tanque de 175m³ de Playa Negra de Cóbano, 2011.

Los arriostres horizontales no escapan a este fenómeno, ya que están definidos como la unión de dos perfiles UPN mediante la separación dada por placas de acero de 200x200x19mm, las cuales son fácilmente soldables a una de las espaldas del primer perfil. En el momento en que se intenta colocar el otro perfil para lograr el entramado de la

viga según planos, la soldadura de este a la placa de separación no es fácil de realizar, por el contrario, tiende a tornarse incómoda y complicada de ejecutar, lo que finalmente se manifiesta en cordones de poca penetración y propensos a la aparición de discontinuidades (porosidad y socavación) que generen un rechazo por inspección visual de soldadura del elemento.

Es importante mencionar que la deformación nuevamente representa un problema grave en este tipo de elementos, pues el solo hecho de apuntalar (colocar de manera provisional puntos de soldadura para evitar los desplazamientos), ya genera distorsiones a lo largo de estos.

Para solucionar este problema, es necesario recurrir a artilugios e inventos con elementos o cargas que generen presión —como sargentos, prensas hidráulicas y pasadores en los orificios de pochado— para evitar que la alteración supere los límites permisibles de distorsión. En las *Figuras 8 y 9* se muestran algunos de los métodos empleados para detener la alta deformación de las piezas, producto de la aplicación de cordones de soldadura según planos. En dicho documento se sugiere la aplicación de tres cordones de soldadura respetando el siguiente orden: cordón de base, cordón de relleno y cordón de corona, mediante la aplicación de soldadura E-6010, E-7018 y E-7018 respectivamente.

Figura 8. Confinamiento durante la etapa constructiva de los arriostres horizontales para evitar su deformación.



Fuente: captura propia durante la inspección del proyecto del tanque de 250m³ de Los Chiles, 2014.

Figura 9. Restricción de movimiento de los arriostres horizontales para evitar su deformación.

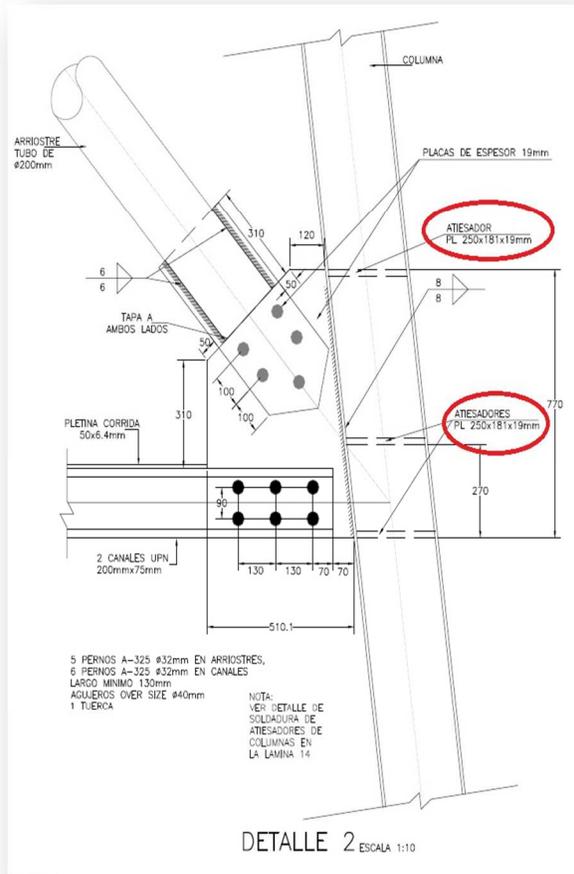


Fuente: captura propia durante la inspección del proyecto del tanque de 250m³ de Los Chiles, 2014.

- **Problemas constructivos.** A la hora de realizar la construcción de los elementos indicados, se genera la aparición de una serie de problemas que agregan un nivel de dificultad extra al proyecto, lo anterior por cuanto aportan una serie de obstáculos constructivos a vencer, que finalmente se traducen en una duración mayor e incremento del costo.

En los planos constructivos del proyecto, se establece que en las intersecciones de columnas con los nudos de la estructura y en la interfaz de contacto *estructura de soporte – reservorio* se debe hacer la colocación de placas rigidizadoras en el interior de la columna, según se indica en la *Figura 10* contemplando soldadura en la totalidad de la periferia del atieizador.

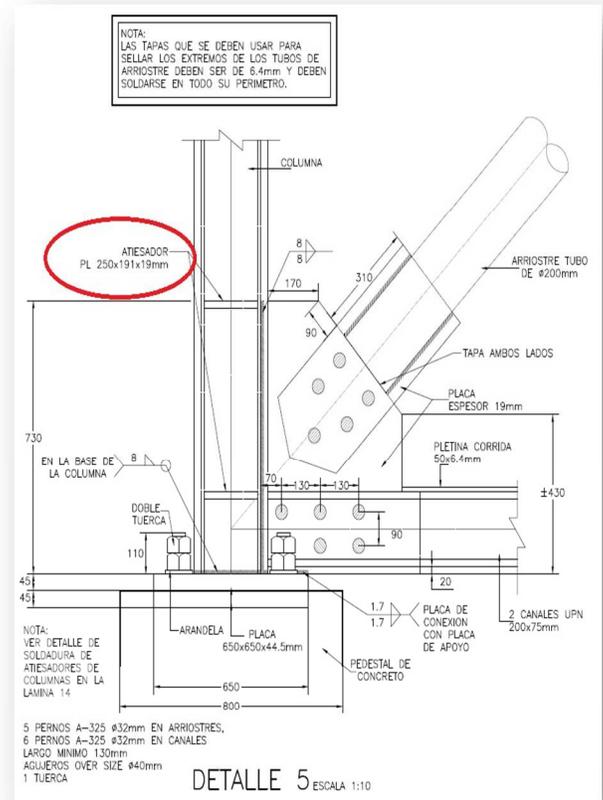
Figura 10. Detalle de la colocación de rigidizadores



Fuente: tomado de los planos del proyecto.

Durante la etapa de armado de la columna, se pueden colocar e inclusive soldar dichas placas en tres de sus cuatro costados, ya que el colocar la pieza que tapa la columna, el costado sin costura quedará de esa manera, contradiciendo la indicación descrita en planos. Para lograr colocar un cordón de soldadura en esa zona, se deben hacer incisiones en la pieza que tapa la columna –a la altura del nudo y coincidente con el rigidizador– para realizar soldadura de relleno entre el orificio realizado y el atiezador. Si se calcula la incidencia de esta práctica y se multiplica por el número de nudos presentes en la estructura, se tendrá una dimensión real del enorme trabajo que se debe realizar y podría convertirse en ahorro. La Figura 11 presenta otro de los nudos referidos.

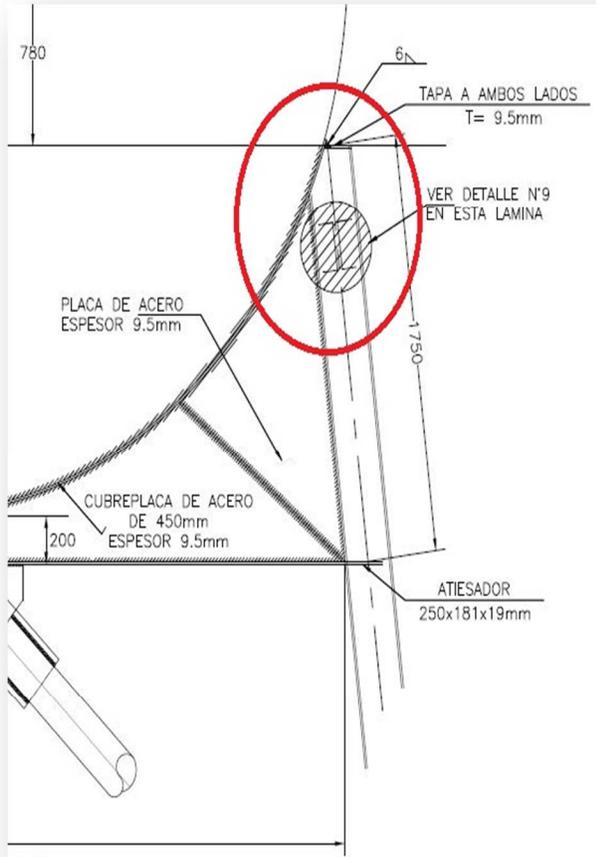
Figura 11. Detalle de la colocación de rigidizadores



Fuente: tomado de los planos del proyecto.

Adicionalmente, los detalles incluidos en los planos constructivos definen para la interfaz de contacto *estructura de soporte – reservorio* un cordón de soldadura corrida por dentro de las columnas cuadradas a nivel del último arrioste horizontal, justo debajo del tanque, tal y como de define el la Figura 12.

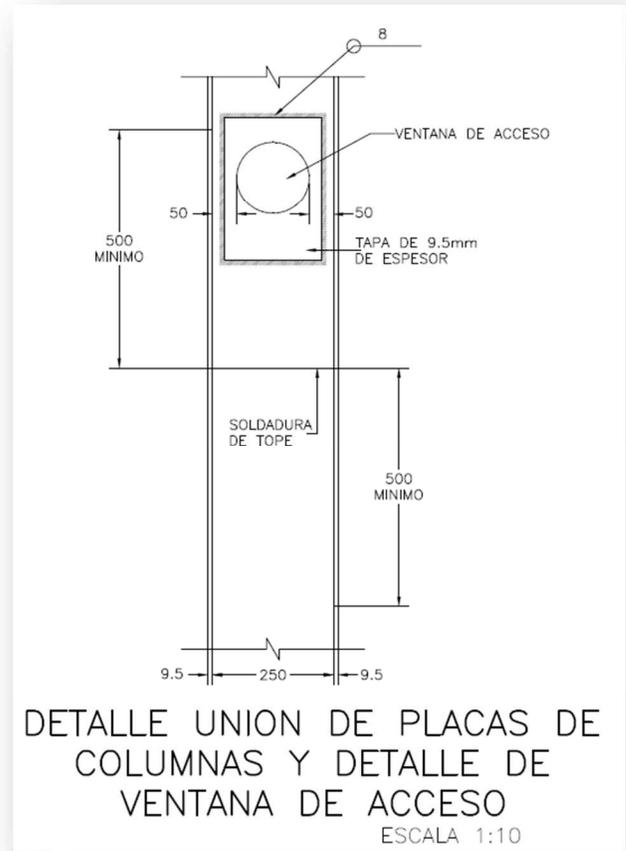
Figura 12. Detalle de la fabricación de nudo superior



.Fuente: tomado de los planos del proyecto.

La ventana de acceso para realizar el soldeo de los elementos es de 15 centímetros de ancho (según *Figura 13*), mediante la cual se deben realizar todas las uniones descritas a una altura de 15 metros sobre el nivel del suelo. Dicho procedimiento es engorroso, con un grado de dificultad considerable y contiene un nivel de riesgo de ejecución importante.

Figura 13. Detalle de ventana de acceso.

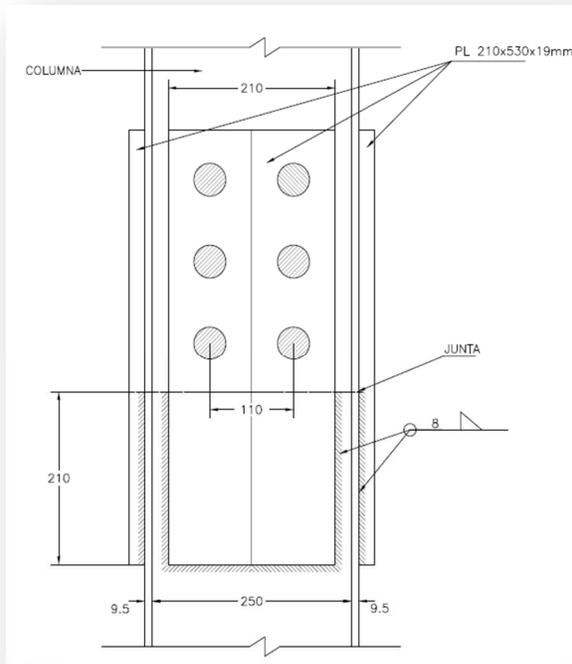


Fuente: tomado de los planos del proyecto.

Aunado a la problemática anterior, la reposición de la superficie de acero removida para realizar las ventanas de acceso, se debe reponer con unas contraplacas soldadas de 19mm de espesor, lo que indiscutiblemente genera un contraste desagradable desde el punto de vista estético en la parte superior de las columnas del tanque.

La *Figura 14* muestra las dimensiones y forma de sujeción de los elementos mencionados a la estructura de soporte.

Figura 14. Detalle de la reposición de acero en la ventana de acceso.



Fuente: tomado de los planos del proyecto.

- **Corrosión.** Tal y como se observa en la *Figura 3*, la soldadura de la columna es discontinua, compuesta de 10 centímetros de cordón, seguidos otros 10 centímetros libres con repetición de dicho patrón en lo sucesivo. Esta condición presenta un mayor riesgo de inicio temprano de corrosión, ya que, al no existir una unión soldada constante, el ingreso de humedad y por ende de oxígeno, a la parte interior de las columnas no está restringido, pues, aunque se coloque sellador epóxico como se indica en la nota de la figura, este es degradado por la acción de la luz solar, dejando el espacio abierto y facilitando el ingreso de la humedad.

Esta situación genera corrosión a lo interno de la columna, la cual es imposible de atacar dado que no existe acceso al interior del elemento. Por lo tanto, esta agravante finalmente se traducirá en una posible pérdida de capacidad estructural del elemento por la merma del espesor de pared corroido y en una disminución considerable de la vida útil del proyecto.

- **Mantenimiento.** Debido a su geometría con áreas salientes, esquinas y zonas de difícil acceso, las columnas y los arriostres horizontales poseen superficies complicadas para limpieza y repinte de elementos como parte de un plan de mantenimiento, comparado con las facilidades que ofrece un área redonda y cerrada para tal fin.

Adicionalmente las zonas propuestas para el uso de sellador epóxico de poliuretano (soldadura interrumpida de columnas y contratapas de ventanas de acceso), necesitan de una constante aplicación de producto al menos cada año, según se indica en la ficha técnica de productos similares, para garantizar su adecuado funcionamiento.

Las razones descritas con anterioridad derivan en una mayor dificultad para ejecutar un plan de mantenimiento y un menor costo en cuanto a los materiales requeridos para llevarlo a cabo.

- **Factor estético.** Una estructura de soporte cargada visualmente con columnas con contrachapas para tapar las ventanas de acceso (a manera de remiendo), mezcla de elementos cuadrados, rectangulares y redondos, como el caso de las columnas, arriostres horizontales y arriostres inclinados respectivamente, e inclusive con la posibilidad de presentar trazas de corrosión, reúne las condiciones de una propuesta estética del tanque elevado que carece de limpieza y sencillez.

Es importante recalcar que la imagen que proyecta la estructura de almacenamiento a colocar en determinada localidad, al mismo tiempo delinea de manera intrínseca el concepto colectivo correspondiente a AyA, de ahí la importancia de que aspectos como este sean considerados en el proyecto.

- **Retrasos en el periodo de ejecución de las obras.** Las demoras, suspensiones y ampliaciones de plazo contractual al inicio del proceso constructivo de estas obras (ocasionadas por los detalles descritos en planos) son frecuentes, pues a pesar de que durante la revisión interna de los documentos (incluidos planos constructivos) que realiza el AyA, en donde se advierte por parte de la unidad ejecutora a la unidad respectiva de diseño sobre la necesidad de modificar el planteamiento constructivo de los miembros señalados para hacerlo más eficiente y de los constantes comentarios, preguntas y observaciones realizados por los posibles

oferentes de las obras de manera previa a la apertura de ofertas, sobre la posibilidad de la modificación, el proceso de contratación sigue su marcha.

Una vez adjudicado el proyecto, el contratista amparado en la posibilidad que le otorga la *Ley de contratación administrativa* mediante la figura denominada *duda razonable* concerniente al proyecto, y específicamente al componente del diseño, presenta un oficio formal donde solicita el cambio de los elementos con base en cálculos de capacidad soportante de cada uno de ellos.

Es fundamental recalcar que el diseño estructural del proyecto, es realizado por un profesional externo a la Institución, por lo que la unidad ejecutora debe trasladar la inquietud recibida a su homóloga de diseño quien a su vez, debe redirigir el cuestionamiento al ingeniero respectivo. Mientras esta cadena de información se desarrolla y en virtud de que los tiempos definidos para el inicio de las obras (emisión de la orden de inicio) no se pueden aumentar, el AyA se ve en la necesidad de suspender el proyecto aun cuando las obras no hayan iniciado, mientras la situación se resuelve, lo que sin duda alguna es contraproducente para el proyecto mismo y finalmente para la Institución, en vista de que son obras directamente relacionadas con la salud de la población.

En el momento en que la interrogante es solventada, independientemente de la respuesta que se genere en cuanto al cambio, el proyecto sigue su camino, pero con un desfase de tiempo muerto producido por el obstáculo ya conocido y que se pudo sortear para bien general.

Tomando en consideración la totalidad de las aristas definidas anteriormente, en las cuales se reflejan aspectos de mano de obra, costos de construcción de obra, de mantenimiento, de facilidad constructiva, e inclusive belleza estética del proyecto, se realiza la sustitución de los elementos correspondientes a columnas y arriostres horizontales del diseño original, por tubo de acero redondo en ambos casos.

El cambio originado pretende dotar de mayor movilidad al proyecto, eliminando una serie de obstáculos asociados a su concepción estructural original, a la vez que se le transmite un aire de armonía y orden visual a las obras.

La modificación adoptada contempla tubos de área transversal similar a la propuesta en los planos de la obra para los arriostres inclinados

(sección 3), descrita en la *Figura 4*. La descripción detallada de dichos elementos y su verificación de capacidad estructural serán abordadas más adelante.

Es importante indicar que se tomó del documento público *Tanque elevado de 150 m³ de capacidad. Revisión del diseño estructural* del Ing. Johnny Granados Bloisse (ver Anexo 1), el dato relacionado al peso de la estructura propuesta inicialmente en planos, la cual contempla el peso propio original. Dicho documento es entregado al adjudicatario por parte del AyA, para gestionar los trámites relacionados con la inscripción de pólizas de seguros del proyecto El *Cuadro 6* resume los datos obtenidos para la estructura.

CUADRO 6. CÁLCULO DE PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA DEFINIDA EN PLANOS ORIGINALES	
Elemento	Peso (kg)
Estructura de soporte	28000
Reservorio	16000
Total	44000

Fuente: documento *Tanque metálico elevado de 150m³ de capacidad*, del Ing. Johnny Granados Bloisse.

Fase 2: Revisión estructural del planteamiento.

El proceso de análisis y elaboración de cálculos arroja los siguientes resultados en cada uno de los apartados definidos para la fase.

Definición de secciones y cargas.

El *Cuadro 7* muestra las capacidades soportantes últimas de los elementos propuestos para el cambio de los miembros correspondientes en la estructura de soporte. Como se mencionó con anterioridad, los miembros sugeridos en la permuta estructural se plantean en función de lecciones aprendidas en proyectos similares anteriores, donde se utilizaron tubos redondos.

El cálculo de las propiedades descritas en el siguiente cuadro se realizó utilizando las ecuaciones descritas en el marco teórico, referidas

a los apartados de: *Diseño de miembros sometidos a tensión, Diseño de elementos por compresión y Comportamiento a flexión y revisión por flexocompresión.*

CUADRO 7. CAPACIDADES NOMINALES DE LOS ELEMENTOS PROPUESTOS PARA LA ESTRUCTURA DE SOPORTE		
Aspecto	Tubo 8" C40	Tubo 12" C40
$\emptyset P_n$ (ton)	172,10	194,30
$\emptyset V_n$ (ton)	65,70	152,60
$\emptyset M_{nx}$ (ton-m)	7,55	19,49
$\emptyset M_{ny}$ (ton-m)	7,55	19,49

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados

Además, las cargas involucradas en la operación normal de la estructura, las cuales son consideradas para el diseño de obra se enumeran a continuación. Es importante mencionar que en el *Apéndice 7* denominado *Cálculo de pesos de la estructura*, se muestra la estimación del peso de los elementos que componen tanto la estructura de soporte, como del reservorio.

CUADRO 8. CARGAS APLICADAS EN LA ESTRUCTURA DE SOPORTE	
Carga considerada	Magnitud
Estructura de soporte	20200 kgf
Reservorio	16000 kgf
Agua contenida	150000 kgf
Empuje de viento	120 kgf/m ²
Carga temporal	0 kgf/m ²

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados, el CSCR2010 y Reglamento de construcciones de Costa Rica.

Cálculo del coeficiente sísmico.

Para el cálculo de dicho coeficiente, se parte de los datos generados en el *Cuadro 9* y el uso de la *Ecuación 21*, además, en el *Cuadro 10* se resumen los datos obtenidos de la aplicación de dicho coeficiente sobre los tres pesos en los que se consideró su afectación, es decir: peso propio de la estructura de soporte, peso propio del reservorio y carga muerta por agua. Todos

necesarios para el proceso de modelado descrito más adelante.

Los periodos obtenidos de *SAP2000* para el cálculo del coeficiente sísmico son 0,2956 en el sentido *X* y 0,4518 en *Y*. Los mismos aportan el 51,3 y el 71,1% de la masa sísmica la cual corresponde a la totalidad de la masa gravitacional, sin embargo, el cálculo en cada sentido arroja un mismo valor del FED (1,768), el cual se remite en el cuadro respectivo. La masa supracitada y que participa en el análisis, se definió en el punto *Modelo estructural* del apartado *Revisión estructural del planteamiento*, correspondientes al capítulo de *Metodología* y su afectación por el coeficiente sísmico calculado de detalla en el *Cuadro 10*.

CUADRO 9. CÁLCULO DEL COEFICIENTE SÍSMICO		
Aspecto	Definición	Referencia en el CSCR 2010
Zona sísmica	III	Sección 2.1
Tipo de suelo	S3	Sección 2.2
Periodo en <i>X</i>	0,2956 s	De <i>SAP2000</i>
Periodo en <i>Y</i>	0,4518 s	De <i>SAP2000</i>
Aceleración ef	0,36	Tabla 2.3
Importancia	1,25	Tabla 4.1
FED	1,768	Figura 5.7
Sobrerresistencia	1,2	Capítulo 5
Coef sísmico (*)	0,663	Calculado

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados y el CSCR2010.

(*) Es el mismo para ambos ejes.

CUADRO 10. CARGAS AFECTADAS POR EL COEFICIENTE SÍSMICO.	
C sísmica	Magnitud
Estructura de soporte	13392 kg
Reservorio	10608 kg
Agua (peso muerto)	99450 kg

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados.

Modelo estructural.

La interacción de todos los aspectos mencionados en los dos apartados anteriores, dan como resultado la obtención de un modelo estructural de

la torre de apoyo del proyecto, en virtud de las cargas consideradas para su aplicación y análisis.

La *Figura 15* muestra la consecución de dicha idealización de la estructura de soporte, creada a partir de la modificación del planteamiento original publicado por el AyA. En ella se observa la determinación de los miembros definidos para la estructura, así como la colocación de un diafragma rígido, el cual fue abordado con anterioridad en el apartado *Definición de secciones y cargas* del capítulo de *Metodología*, que transmite las cargas desde el centroide de aplicación del reservorio a la torre que lo soporta.

Es fundamental mencionar que para la modulación de la estructura, no se consideró el análisis dinámico del agua, en virtud de que las presiones convectiva e inyectiva de la masa de agua oscilante dentro del tanque, son utilizadas a la hora de realizar los cálculos respectivos a las paredes del tanque, de tal manera que desde el punto de vista de la estructura de soporte, solo interesa la masa que se encuentra elevada sobre esta y su afectación por el sismo, es decir, se consideró que el comportamiento del tanque no influye en el comportamiento de la estructura de soporte.

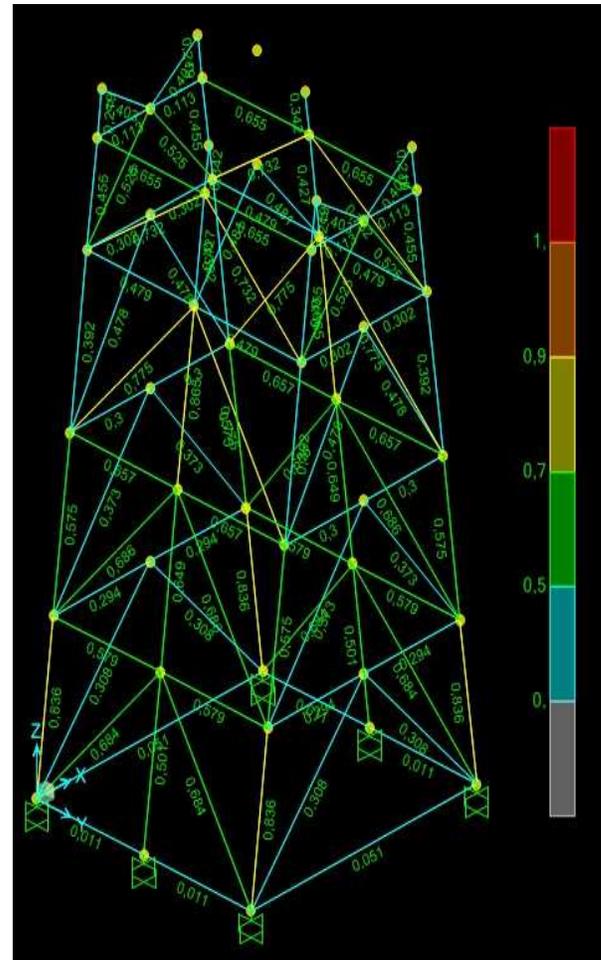
Tal y como se observa en la *Figura 15*, es posible extraer del *SAP2000* una imagen de comparación utilizando como referencia una escala de colores predefinida que inicia en el color gris y concluye en el indicador rojo, siendo el gris el valor más bajo (0) y por consiguiente el rojo el más alto o 1.

La confrontación de dicha escala con los colores que aparecen en los diferentes elementos que componen la modulación de la estructura, persigue la finalidad de generar un panorama general del nivel de esfuerzo al que están sometidos los diferentes miembros, es decir, indica la condición de fuerza actuante en cada elemento contra la resistencia o capacidad de soporte del mismo. Cualquier elemento que aparezca en color rojo no podrá ser utilizado, ya que sobrepasa los límites de tolerancia según sea el aspecto que incumple, por lo que deberá replantearse una nueva propuesta para el o los elementos que se encuentren en esa condición.

Es fundamental destacar que el análisis realizado mediante *SAP2000* se realizó como una referencia de comparación de los resultados obtenidos, ya que la obtención de capacidades nominales, capacidades últimas y valores de interacción se realizó de manera manual y

mediante la implementación de la teoría descrita para tal efecto.

Figura 15. Detalle del modelo estructural propuesto.



Fuente: tomado del *SAP 2000*.

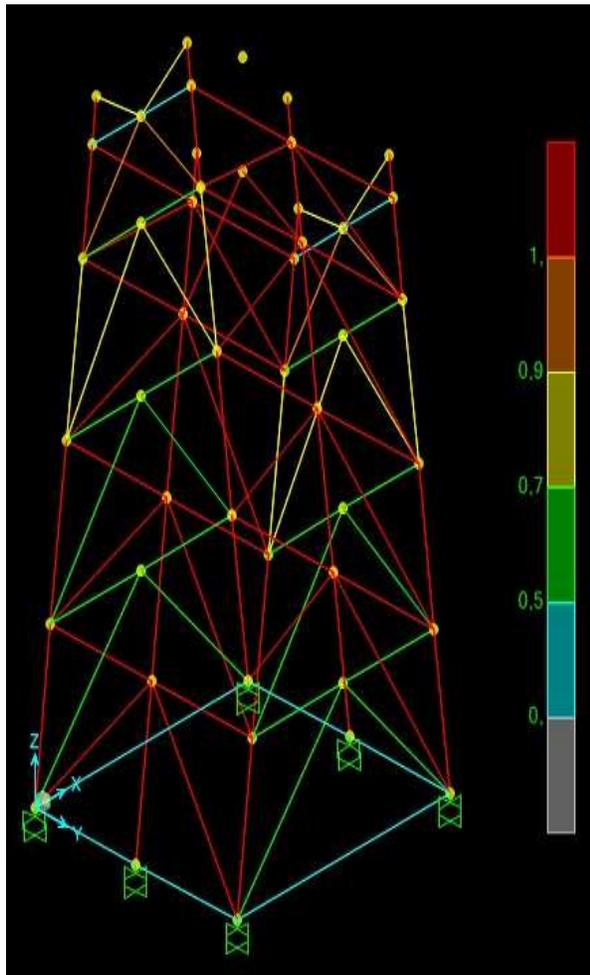
Cabe destacar que de manera preliminar a la propuesta de tubos de 12 y 8 pulgadas avalada mediante el presente trabajo, se sugirió un planteamiento que contempló el uso de tubos redondos de acero con diámetros nominales de 10 y 6 pulgadas para las columnas y arriostres respectivamente. Sin embargo, éstos no cumplen con los requerimientos de diseño definidos en la normativa vigente (*AISC*), ya que son elementos sobreesforzados, donde la relación de esbeltez limita el diseño.

La *Figura 16* muestra el diagrama de comparación de colores obtenido del *SAP2000* para el uso de elementos de 10 y 6 pulgadas de

diámetro mencionados en el párrafo anterior, donde se observa que varios de los miembros propuestos de manera preliminar incumplen el parámetro de revisión de fuerza actuante versus su capacidad soportante y relación de esbeltez.

Un factor fundamental que se debe considerar a la hora de realizar el diseño, es la disponibilidad de tubos metálicos redondos con los que cuenta el mercado. La gama de posibilidades que ofrecen las empresas dedicadas a esta rama del comercio inicia con dos diferentes espesores de pared –cédulas 40 y 80– y diámetros nominales de 6, 8, 10, 12 y 14 pulgadas. Los diámetros correspondientes a números impares, no están disponibles de manera inmediata, ya que solo se obtienen en una orden bajo pedido, con un tiempo de respuesta para su fabricación considerablemente alto.

Figura 16. Detalle del modelo estructural preliminar



Fuente: tomado del SAP 2000.

Revisión de la capacidad soportante de los elementos.

Tomando como base la información definida en el Cuadro 7, en relación con la capacidad soportante última de las secciones propuestas, en combinación con las tablas de fuerzas en cada miembro obtenidas de SAP2000, se realiza la determinación de la ubicación de los elementos críticos de la estructura, para su posterior análisis, según la clasificación definida en el capítulo anterior para los elementos contemplados.

El Cuadro 11 resume el análisis obtenido de la estructura de soporte, en referencia a los miembros críticos identificados por su condición de carga y longitud máximas. El cálculo de los valores de interacción se realiza según la Ecuación 19 y la Ecuación 20, referidas con anterioridad.

CUADRO 11. RESUMEN DEL ANÁLISIS DE FUERZAS SOBRE ELEMENTOS CRÍTICOS DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE OBTENIDOS MEDIANTE LAS FÓRMULAS 19 Y 20.

Solicitación	Elemento	Combinación de carga	Magnitud	Longitud (m)	Interacción
<i>Arriostres inclinados de fachada Norte-Sur</i>					
Tensión	11	1.05CP+0.5CT-CSx-0.3CSy	-10,08 ton	5,55	0,26
Compresión	44	0.95CP-1CSx-0.3CSy	26,88 ton	5,55	0,42
Momento x	8	1.05CP+0.5CT-0.3CSx+1CSy	-0,079ton-m	6,00	0,06
Momento y	158	1.05CP+0.5CT+0.3CSx-1CSy	0,32 ton-m	6,00	0,08
<i>Arriostres inclinados de fachada Este-Oeste</i>					
Tensión	81	1.05CP+0.5CT-0.3CSx-1CSy	-50,37 ton	5,78	0,47
Compresión	78	0.95CP+0.3CSx+1CSy	41,98 ton	4,73	0,83
Momento x	86	1.05CP+0.5CT+0.3CSx+1CSy	1,51 ton-m	4,73	0,81
Momento y	84	1,4CP	-1,39 ton-m	5,78	0,27
<i>Arriostres horizontales</i>					
Tensión	137	0.95CP-1CSx-0.3CSy	-17,10 ton	3,05	0,12
Compresión	100	1.05CP+0.5CT-CSx-0.3CSy	18,79 ton	3,05	0,32
Momento x	70	0.95CP-1CSx+0.3CSy	-3,56 ton-m	3,98	0,55
Momento y	74	1.05CP+0.5CT+CSx-0.3CSy	0,71 ton-m	3,47	0,24
<i>Columnas</i>					
Tensión	97	1.05CP+0.5CT-0.3CSx-1CSy	-144,08 ton	4,20	0,85
Compresión	128	0.95CP-0.3CSx-1CSy	80,49 ton	4,20	0,62
Momento x	110	1.05CP+0.5CT+CSx+0.3CSy	1,49 ton-m	4,20	0,34
Momento y	92	1.05CP+0.5CT-0.3CSx-1CSy	2,24 ton-m	4,20	0,63

Fuente: elaboración propia con base en los resultados obtenidos del SAP2000.

En los *Apéndices 3, 4 y 5* se muestra en su totalidad la memoria de cálculo utilizada para la revisión estructural del cumplimiento de solicitudes de todos los elementos analizados, así como de comprobación de propiedades de estos, donde se observan los valores de interacción obtenidos en cada caso, según las *Ecuaciones 19 y 20*. Por otra parte, el *Cuadro 12* presenta los valores de capacidades últimas aplicadas sobre cada elemento crítico (en función de su agrupación) comparados con los valores de carga nominal calculados.

CUADRO 12. CARGAS ÚLTIMAS Y NOMINALES PARA LOS ELEMENTOS CRÍTICOS.		
Solicitud	Valor de carga ultima	Valor carga nominal
<i>Arriostres inclinados de fachada Norte-Sur</i>		
Flexión (ton-m)	0,32	7,55
Cortante (ton)	0,08	37,40
Compresión (ton)	26,88	65,70
Tensión (ton)	27,54	112,10
<i>Arriostres inclinados de fachada Este-Oeste</i>		
Flexión (ton-m)	1,39	7,55
Cortante (ton)	0,37	37,40
Compresión (ton)	41,97	65,70
Tensión (ton)	50,37	112,10
<i>Arriostres horizontales</i>		
Flexión (ton-m)	0,71	7,55
Cortante (ton)	3,56	7,55
Compresión (ton)	18,79	65,70
Tensión (ton)	17,10	112,10
<i>Columnas</i>		
Flexión (ton-m)	2,24	19,49
Cortante (ton)	0,74	64,80
Compresión (ton)	80,49	152,60
Tensión (ton)	144,08	194,30

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizado

Como se mencionó en párrafos anteriores, la disponibilidad de elementos metálicos en el mercado nacional juega un papel preponderante en la escogencia de los miembros a utilizar, ya que incide directamente en la cantidad de posibles opciones con las que se cuenta para su utilización.

Fase 3: Diseño del proceso constructivo estándar de tanques elevados.

Logística de fabricación de la estructura metálica.

El procedimiento de fabricación específico para cada frente de trabajo definido por las empresas analizadas, se presenta en los siguientes cuadros comparativos. Es importante mencionar que existen algunas tareas previas de carácter más administrativo, las cuales nuevamente presentan una tendencia reiterativa entre las empresas. Sin embargo, pese a la condición de consistir en un requisito burocrático, dan pie al inicio del proceso de construcción y están sujetas a la supervisión e inspección por parte del AyA. Las actividades mencionadas son:

- Requisitos del proceso de soldeo.
- Análisis de planos constructivos.
- Elaboración de planos de taller.
- Compra de materiales.

En el *Cuadro 13* se presentan los resultados obtenidos para el primer frente de trabajo (correspondiente al de trabajos en el sitio del proyecto) por cada constructora.

CUADRO 13. TRABAJOS REALIZADOS POR CADA EMPRESA PARA EL FRENTE DE TRABAJO DENOMINADO *TRABAJO EN SITIO*

Fernández & Vaglio	CODOCSA	Industrias Bendig	INTEC
Colocación y alineado de pernos de anclaje para colado de pedestales	Colocación y alineado de pernos de anclaje para colado de pedestales	Colocación y alineado de pernos de anclaje para colado de pedestales	Colocación y alineado de pernos de anclaje para colado de pedestales
Colocación y alineado de placas de asiento para colado de pedestales	Colocación y alineado de placas de asiento para colado de pedestales	Colocación y alineado de placas de asiento para colado de pedestales	Colocación y alineado de placas de asiento para colado de pedestales
Verificación de niveles de placas de asiento postcolado	Verificación de niveles de placas de asiento postcolado	Verificación de niveles de placas de asiento postcolado	Verificación de niveles de placas de asiento postcolado
Montaje de la estructura			
Repinte de la estructura	Repinte de la estructura	Retoque de la estructura	Repinte de la estructura

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas.

En el caso de los *Cuadros 14, 15 y 16*, estos resumen la información recopilada sobre los restantes tres frentes de trabajo (asociados al taller de fabricación de estructura) denominados: estructura de soporte, reservorio y estructuras misceláneas respectivamente, para cada una de las empresas entrevistadas.

CUADRO 14. TRABAJOS REALIZADOS POR CADA EMPRESA EN TALLER PARA EL FRENTE DE TRABAJO DENOMINADO ESTRUCTURA DE SOPORTE

Fernández & Vaglio	CODOCSA	Industrias Bendig	INTEC
Corte de tubos de columnas	Corte de tubos de columnas	Preparación de la superficie y colocación de una capa de la pintura de base	Corte de tubos de columnas
Corte de tubos de arriostres inclinados	Corte de tubos de arriostres	Corte de tubos de columnas	Corte de tubos de arriostres inclinados
Corte de tubos de arriostres horizontales	Corte y ponchado de placas de unión de nudos y otros accesorios	Corte de tubos de arriostres inclinados	Corte de tubos de arriostres horizontales
Corte y ponchado de placas de unión de nudos, atiezadores y otros accesorios	Apuntalado y resoldeo de las columnas	Corte de tubos de arriostres horizontales	Corte y ponchado de placas de unión de nudos y otros accesorios
Apuntalado y resoldeo de las columnas	Apuntalado y resoldeo de los arriostres	Apuntalado y resoldeo de las columnas	Apuntalado y resoldeo de las columnas
Apuntalado y resoldeo de los arriostres	Preparación de la superficie	Apuntalado y resoldeo de los arriostres inclinados	Apuntalado y resoldeo de los arriostres
Corte y rolado de los elementos de las ménsulas de apoyo del tanque	Corte y rolado de los elementos de las ménsulas de apoyo del tanque	Corte y rolado de los elementos de las ménsulas de apoyo del tanque	Corte y rolado de los elementos de las ménsulas de apoyo del tanque
Soldeo de la sección inferior de las ménsulas de apoyo	Soldeo de la sección inferior de las ménsulas de apoyo	Soldeo de la sección inferior de las ménsulas de apoyo	Soldeo de la sección inferior de las ménsulas de apoyo
Preparación de la superficie	Aplicación de la pintura de base	Apuntalado y resoldeo de los arriostres horizontales	Preparación de la superficie
Aplicación de la pintura de base	Aplicación de la pintura de acabado	Recuperación de las áreas de pintura afectadas por la soldadura y aplicación de una segunda capa de pintura base	Aplicación de la pintura de base
Carga y transporte al sitio	Carga y transporte al sitio	Carga y transporte al sitio	Carga y transporte al sitio

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas.

CUADRO 15. TRABAJOS REALIZADOS POR CADA EMPRESA EN TALLER PARA EL FRENTE DE TRABAJO DENOMINADO RESERVORIO

Fernández & Vaglio	CODOCSA	Industrias Bendig	INTEC
Rolado de las láminas	Rolado de las láminas	Rolado de las láminas	Rolado de las láminas
Construcción de las tapas planas de los anillos extremos	Construcción de las tapas planas de los anillos extremos	Preparación de la superficie de las láminas y tubos de la pasarela interna	Construcción de las tapas planas de los anillos extremos
Armado de los anillos extremos (con tapa)	Armado de los anillos extremos (con tapa)	Aplicación de la primera capa de la pintura de base	Armado de los anillos extremos (con tapa)
Armado de los anillos intermedios	Armado de los anillos intermedios	Construcción de las tapas planas de los anillos extremos	Armado de los anillos intermedios
Construcción de la estructura de soporte interna (pasarela)	Construcción de la estructura de soporte interna (pasarela)	Armado de los anillos extremos (con tapa)	Construcción de la estructura de soporte interna (pasarela)
Resoldeo de los anillos extremos completos (incluyendo la tapa)	Resoldeo de los anillos extremos completos (incluyendo la tapa)	Armado de los anillos intermedios	Resoldeo de los anillos extremos completos (incluyendo la tapa)
Resoldeo de los anillos intermedios	Resoldeo de los anillos intermedios	Construcción de la estructura de soporte interna (pasarela)	Resoldeo de los anillos intermedios
Armado de los extremos del reservorio	Preparación de las superficies de los diferentes elementos	Resoldeo de los anillos extremos completos (incluyendo la tapa)	Preparación de las superficies de los diferentes elementos
Colocado de la estructura interna de soporte	Aplicación de la pintura de base a cada elemento	Resoldeo de los anillos intermedios	Aplicación de la pintura de base a cada elemento
Armado del reservorio	Armado de los extremos del reservorio	Armado de los extremos del reservorio	Armado de los extremos del reservorio
Resoldeo del reservorio	Colocado de la estructura interna de soporte	Colocado de la estructura interna de soporte	Colocado de la estructura interna de soporte
Resoldeo de los patines superiores de la ménsula de apoyo del reservorio	Armado del reservorio	Armado del reservorio	Armado del reservorio
Preparación de la superficie	Resoldeo del reservorio	Resoldeo del reservorio y patines superiores	Resoldeo del reservorio
Aplicación de la pintura de base	Resoldeo de los patines superiores de la ménsula de apoyo del reservorio	Recuperación de las áreas de pintura afectadas por la soldadura y aplicación de una segunda capa de pintura base	Resoldeo de los patines superiores de la ménsula de apoyo del reservorio
Carga y transporte al sitio	Carga y transporte al sitio	Carga y transporte al sitio	Carga y transporte al sitio

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas.

CUADRO 16. TRABAJOS REALIZADOS POR CADA EMPRESA EN TALLER PARA EL FRENTE DE TRABAJO DENOMINADO ESTRUCTURAS MISCELÁNEAS

Fernández & Vaglio	CODOCSA	Industrias Bendig	INTEC
Construcción de la pasarela externa	Construcción de la pasarela externa	Preparación de la superficie de los diferentes materiales de las estructuras	Construcción de la pasarela externa
Construcción de las barandas	Construcción de las barandas	Aplicación de la primera capa de pintura de base	Construcción de las barandas
Construcción de la escalera de acceso	Construcción de la escalera de acceso	Construcción de la pasarela externa	Construcción de la escalera de acceso
Construcción del acceso al reservorio y respiraderos	Construcción del acceso al reservorio y respiraderos	Construcción de las barandas	Construcción del acceso al reservorio y respiraderos
Construcción de las tuberías de entrada, salida y rebose	Construcción de las tuberías de entrada, salida y rebose	Construcción de la escalera de acceso	Construcción de las tuberías de entrada, salida y rebose
Preparación de la superficie	Preparación de la superficie	Construcción del acceso al reservorio y respiraderos	Preparación de la superficie
Aplicación de la pintura de base	Aplicación de la pintura de base	Construcción de las tuberías de entrada, salida y rebose	Aplicación de la pintura de base
Carga y transporte al sitio	Carga y transporte al sitio	Recuperación de las áreas de pintura afectadas por la soldadura y aplicación de una segunda capa de pintura base	Carga y transporte al sitio
–	–	Carga y transporte al sitio	–

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas.

Para un mejor entendimiento de los *Cuadros 13, 14, 15 y 16* es importante definir el alcance de las actividades de mayor complejidad ahí reseñadas y así determinar su definición. En el caso del cuadro resumen de las actividades del frente de trabajo de las labores en sitio, la definición de las tareas se detalla a continuación:

- **Colocación y alineado de pernos de anclaje y placas de asiento para el colado de pedestales**

Se refiere a instalar cada uno de los elementos descritos en su ubicación final según planos constructivos. El acomodo debe ser de tal manera, que la manipulación del pedestal para su chorrea no afecte su posición.

- **Verificación de niveles de placas de asiento postcolado**

Se refiere básicamente a la acción de corroborar que las actividades propias de la chorrea no hayan modificado la posición necesaria.

- **Montaje de la estructura**

Se refiere a las actividades relacionadas con los trabajos de soldadura y armado hechos en sitio para el ensamble de la estructura de soporte completa (uniones pernadas de columnas, arriostres inclinados y arriostres horizontales, así como las uniones soldadas de las ménsulas de carga) o de cada marco entre sí; además del armado total del tanque (reservorio, acceso, pasarela externa, barandas, y tuberías) para su colocado y soldeo final.

- **Repinte de la estructura**

Se refiere a la recuperación de todas las abolladuras causadas en la pintura base de cualquier elemento de la estructura, ocasionadas por el transporte y manipulación de las mismas. Su reparación se realiza mediante el lijado del tramo afectado, para su posterior aplicación de pintura base (de manera uniforme) y barrido con pintura de acabado, hasta alcanzar los espesores de película seca definidos en planos.

En referencia al frente de trabajo relacionado con la estructura de soporte, la descripción de las tareas asociadas a este se detalla a continuación:

- **Corte de tubos de columnas**

Se refiere al corte modular (incluyendo ángulos y posiciones) de los tubos que conformarán las columnas.

- **Corte de los tubos de arriostres inclinados y horizontales**

Se refiere al corte modular (incluyendo ángulos y posiciones) de los tubos que conformarán las riostras inclinadas y horizontales en la estructura.

- **Corte y ponchado de placas de unión de nudos**

Se refiere al corte según sus dimensiones y perforación para colocación de pernos de las placas de unión en cada uno de los nudos de la estructura de soporte.

- **Apuntalado y resoldado de columnas y arriostres inclinados y horizontales**

Se refiere a la perforación del nido para colocar las placas de unión (mismas que atraviesan el área transversal de los elementos), y a la colocación de las camisas de refuerzo en las uniones a tope de elementos que no pueden ser conformados mediante un solo tubo.

- **Corte y rolado de los elementos de las ménsulas de apoyo del tanque**

Se refiere al corte y conformación del patín superior curvo, alma de peralte variable y patín inferior recto de la estructura unión entre el reservorio y la estructura de soporte.

- **Resoldado de los patines superiores de la ménsula de apoyo del reservorio**

Se refiere a la colocación y soldeo del patín superior curvo de la ménsula a la parte inferior del reservorio. Esto permitirá que siente en la estructura de soporte durante el izaje.

- **Preparación de la superficie**

Se refiere al proceso de limpieza mediante chorro de arena a presión (*sand blasting*) realizado sobre las superficies externas de metal de los elementos, hasta lograr un nivel de limpieza *SP-10*, según la norma de *The Society for Protective Coatings (SSPC)*.

- **Soldeo de la sección inferior de las ménsulas de apoyo**

Se refiere a la unión soldada del patín inferior y el alma de peralte variable de la ménsula de asiento del tanque.

- **Recuperación de las áreas de pintura afectadas por la soldadura y aplicación de una segunda capa de pintura base**

Se refiere a la restauración de las zonas de pintura afectadas por el calor de aplicación de la soldadura, cuando se le aplica recubrimiento de base de manera previa al inicio del proceso de construcción.

Para el caso del frente de trabajo denominado reservorio, a continuación, se definen las actividades de una complejidad superior ahí contempladas.

- **Rolado de las láminas**

Se refiere a la dotación de la curvatura definida en planos a las láminas de acero que conformarán el reservorio, mediante un equipamiento especializado capacitado para su manipulación y procesamiento.

- **Construcción de las tapas planas de los anillos extremos**

Se refiere a la conformación, apuntalado (colocación de puntos de soldadura consecutivos, para evitar el desplazamiento de los elementos) y resoldeo (colocación de los cordones finales de soldadura definidos en planos) de las tapas planas laterales del reservorio de agua potable, compuestas de tramos de láminas de acero.

- **Armado de los anillos extremos (con tapa)**

Se refiere al apuntalado de los dos anillos extremos del tanque, los cuales contienen las tapas planas en uno de sus laterales.

- **Armado de los anillos intermedios**

Se refiere al apuntalado de los restantes tres aros intermedios del tanque, los cuales irán unidos entre sí, con un anillo extremo a cada lado.

- **Construcción de la estructura de soporte interna (pasarela)**

Se refiere a la producción de la estructura interna de soporte del reservorio, la cual evita que el tanque se deforme a la vez que facilita el acceso y desplazamiento interno en el tanque.

- **Resoldeo de los anillos extremos e intermedios**

Se refiere a la colocación de los cordones de soldadura finales (cordón de base, relleno y corona) definidos en planos según sea el caso de cada aro que compone la estructura.

- **Colocado de la estructura interna de soporte**

Se refiere a la ubicación de la pasarela interna dentro del tanque, mediante la maniobra constructiva basada en la unión de dos anillos intermedios a uno extremo, a la vez que el restante central se une al segundo extremo. Uno de los anillos unidos se coloca en posición vertical, se embute la estructura interna y se tapa con los aros restantes, posterior a eso, se apuntala el reservorio completo para luego resoldarse.

- **Resoldeo de los patines superiores de la ménsula de apoyo del reservorio**

Se refiere a la colocación en la parte inferior del tanque del patín superior curvo de la viga de alma variable, que funge como ménsula de apoyo del tanque.

Por último, el frente de trabajo pendiente de definición de tareas que así lo requieren, es el correspondiente a las obras misceláneas, las cuales son todas aquellas que no son abarcadas en los frentes anteriores. A continuación, su detalle:

- **Construcción de la pasarela externa**

Se refiere a la fabricación de la estructura de andamiaje externa del reservorio, la cual permite el desplazamiento por el costado externo, así como el acceso al tanque.

- **Construcción de las barandas**

Se refiere a la elaboración de las barreras de protección contra caídas complementarias a la estructura anteriormente descrita.

- **Construcción de las tuberías de entrada, salida y rebose**

Se refiere a la medición, producción y colocación de las tuberías de trasiego y movilización del líquido dentro del tanque para su llenado, vaciado y mantención del nivel óptimo de operación.

Mano de obra involucrada.

En el presente apartado, se resume la información histórica obtenida a partir de la investigación realizada en las empresas antes mencionadas, sobre la asignación de recurso humano para la atención de los diferentes frentes de trabajo descritos para proyectos similares en los últimos cinco años. Así entonces, los *Cuadros 17, 18, 19* y *20* resumen las diferentes configuraciones de personal encontradas en cada empresa para realizar los trabajos asignados a cada frente de trabajo.

CUADRO 17. ASIGNACIÓN DE RECURSO HUMANO POR CADA EMPRESA PARA EL FRENTE DE TRABAJO DENOMINADO <i>TRABAJO EN SITIO</i>				
Tarea	Fernández & Vaglio	CODOCSA	Industrias Bendig	INTEC
Colocación y alineado de pernos de anclaje para colado de pedestales	1 Soldador 1 Ayudante	1 Armador 1 Ayudante	1 Armador 1 Ayudante	1 Armador 1 Ayudante
Colocación y alineado de placas de asiento para colado de pedestales	1 Soldador 1 Ayudante	1 Armador 1 Ayudante	1 Armador 1 Ayudante	1 Armador 1 Ayudante
Verificación de niveles de placas de asiento postcolado	1 Soldador 1 Ayudante	1 Armador 1 Ayudante	1 Armador 1 Ayudante	1 Armador 1 Ayudante
Montaje de la estructura	2 Soldador 2 Armador 2 Ayudantes			
Repinte de la estructura	2 Pintores 2 Ayudantes 2 Peones	2 Pintores 2 Ayudantes 1 Peón	2 Pintores 2 Ayudantes 1 Peón	2 Pintores 2 Ayudantes 1 Peón

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas.

CUADRO 18. ASIGNACIÓN DE RECURSO HUMANO POR CADA EMPRESA PARA EL FRENTE DE TRABAJO EN TALLER DENOMINADO ESTRUCTURA DE SOPORTE					
Actividad	Tarea	Fernández & Vaglio	CODOCSA	Industrias Bendig	INTEC
Columnas	Corte de tubos	Armador # 1 Ayudante # 1	Armador # 1 Ayudante # 1	Soldador # 1 Ayudante # 1	Armador # 1 Ayudante # 1
	Apuntalado	Armador # 2 Armador # 1 Ayudante # 1	Armador # 2 Armador # 1 Ayudante # 1	Soldador # 2 Ayudante # 2	Armador # 2 Soldador # 1 Ayudante # 1
	Resoldeo	Soldador # 1 Soldador # 2 Ayudante # 2	Soldador # 1 Soldador # 2 Ayudante # 2	Soldador # 1 Soldador # 2 Ayudante # 2	Soldador # 1 Soldador # 2 Ayudante # 2
Arriostres inclinados y horizontales	Corte de tubos	Armador # 3 Ayudante # 3	Armador # 3 Ayudante # 3	Soldador # 3 Ayudante # 3	Armador # 3 Ayudante # 3
	Apuntalado	Armador # 4 Armador # 3 Ayudante # 3	Armador # 4 Armador # 3 Ayudante # 3	Soldador # 3 Ayudante # 3	Armador # 4 Armador # 3 Ayudante # 3
	Resoldeo	Soldador # 3 Ayudante # 4	Soldador # 3 Ayudante # 4	Soldador # 1 Soldador # 2 Ayudante # 2	Soldador # 3 Ayudante # 4
Placas de unión y atezadores	Corte	Armador # 3 Ayudante # 3	Armador # 3 Ayudante # 3	Armador # 1 Ayudante # 1	Armador # 3 Ayudante # 3
	Ponchado	Ayudante # 3	Ayudante # 3	Ayudante # 1	Ayudante # 3
Ménsulas	Corte	Armador # 1 Ayudante # 1	Armador # 1 Ayudante # 1	Soldador # 2 Ayudante # 2	Armador # 1 Ayudante # 1
	Apuntalado	Armador # 1 Ayudante # 1	Armador # 1 Ayudante # 1	Soldador # 2 Ayudante # 2	Armador # 1 Ayudante # 1
	Resoldeo	Soldador # 1 Ayudante # 1	Soldador # 1 Ayudante # 1	Soldador # 1 Soldador # 2 Ayudante # 2	Soldador # 1 Ayudante # 1
Preparación de la superficie	<i>Sand blasting</i>	Subcontrato	Pintor # 1 Ayudante pintura # 1 Ayudante	Pintor # 1 Ayudante pintura # 1 Ayudante	Subcontrato
Aplicación de pintura de base estructura	Aplicación	Pintor # 1 Ayudante de pintura # 1 Ayudante #3	Pintor # 1 Ayudante de pintura # 1 Ayudante	Pintor # 1 Ayudante de pintura # 1 Ayudante	Pintor # 1 Ayudante de pintura # 1 Ayudante #3

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas

CUADRO 19. ASIGNACIÓN DE RECURSO HUMANO POR CADA EMPRESA PARA EL FRENTE DE TRABAJO EN TALLER DENOMINADO RESERVORIO					
Actividad	Tarea	Fernández & Vaglio	CODOCSA	Industrias Bendig	INTEC
Rolado de láminas de tanque	Doblaje	Subcontrato	Armador # 1 Ayudante # 1	Armador # 1 Ayudante # 1	Subcontrato
Construcción de tapas planas	Trazado y corte	Armador # 1 Ayudante # 1	Armador # 1 Ayudante # 1	Soldador # 1 Ayudante # 2	Armador # 1 Ayudante # 1
	Apuntalado	Armador # 1 Ayudante # 1	Armador # 1 Ayudante # 1	Soldador # 1 Ayudante # 2	Armador # 1 Ayudante # 1
	Resoldeo	Soldador # 1 Ayudante # 1	Soldador # 1 Ayudante # 1	Soldador # 2 Ayudante # 2	Soldador # 1 Ayudante # 1
Anillos intermedios y extremos del tanque	Apuntalado	Armador # 2 Armador # 3 Ayudante # 2 Ayudante # 3	Armador # 2 Armador # 3 Ayudante # 2 Ayudante # 3	Soldador # 2 Soldador # 3 Ayudante # 2 Ayudante # 3	Armador # 2 Armador # 3 Ayudante # 2 Ayudante # 3
	Resoldeo	Soldador # 1 Soldador # 2 Ayudante # 1 Ayudante # 2	Soldador # 1 Soldador # 2 Ayudante # 1 Ayudante # 2	Soldador # 2 Ayudante # 2 Soldador # 3 Ayudante # 3	Soldador # 1 Soldador # 2 Ayudante # 1 Ayudante # 2
Pasarela interna	Apuntalado	Armador # 4 Ayudante # 4	Armador # 4 Ayudante # 4	Armador # 1 Ayudante # 4	Armador # 4 Ayudante # 4
	Resoldeo	Soldador # 3 Ayudante # 4	Soldador # 3 Ayudante # 4	Soldador # 1 Ayudante # 4	Soldador # 3 Ayudante # 4
Armado del tanque	Apuntalado	Armador # 2 Ayudante # 2	Armador # 2 Ayudante # 2	Armador # 2 Ayudante # 3	Armador # 2 Ayudante # 2
	Resoldeo	Soldador # 1 Ayudante # 2	Soldador # 1 Ayudante # 2	Soldador # 2 Ayudante # 1	Soldador # 1 Ayudante # 2
Colocado de la pasarela interna	Apuntalado	Armador # 3 Ayudante # 3	Armador # 3 Ayudante # 3	Soldador # 1 Ayudante # 2	Armador # 3 Ayudante # 3
	Resoldeo	Soldador # 1 Ayudante # 2	Soldador # 1 Ayudante # 2	Soldador # 2 Ayudante # 2	Soldador # 1 Ayudante # 2
Soldeo de patines superiores de ménsula	Resoldeo	Soldador # 3 Ayudante # 4	Soldador # 3 Ayudante # 4	Soldador # 3 Ayudante # 3	Soldador # 3 Ayudante # 4
Preparación de la superficie	<i>Sand blasting</i>	Subcontrato	Pintor # 1 Ayudante pintura # 1	Pintor # 1 Ayudante pintura # 1	Subcontrato
Aplicación de pintura de base estructura	Aplicación	Subcontrato	Pintor # 1 Ayudante de pintura # 1	Pintor # 1 Ayudante de pintura # 1 Ayudante	Pintor # 1 Ayudante de pintura # 1 Ayudante #3

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas

CUADRO 20. ASIGNACIÓN DE RECURSO HUMANO POR CADA EMPRESA PARA EL FRENTE DE TRABAJO EN TALLER DENOMINADO *ESTRUCTURAS MISCELÁNEAS*

Actividad	Tarea	Fernández & Vaglio	CODOCSA	Industrias Bendig	INTEC
Construcción de pasarela externa	Corte	Armador # 1 Ayudante # 1			
	Apuntalado	Armador # 1 Ayudante # 1			
	Resoldeo	Soldador # 1 Ayudante # 1			
Barandas de la pasarela externa	Corte	Armador # 2 Ayudante # 2			
	Apuntalado	Armador # 2 Ayudante # 2			
	Resoldeo	Soldador # 2 Ayudante # 2			
Escalera de acceso al tanque	Doble de peladaños de varilla	Ayudante # 1	Ayudante # 1	Ayudante # 1	Ayudante # 1
	Doble de la platina para jaula	Armador # 1 Ayudante # 2			
	Apuntalado	Armador # 1 Ayudante # 2			
	Resoldeo	Soldador # 1 Ayudante # 1			
Acceso y respiraderos	Corte	Armador # 2 Ayudante # 2			
	Apuntalado	Armador # 2 Ayudante # 2			
	Resoldeo	Soldador # 2 Ayudante # 2			
Tuberías	Corte	Armador # 1 Ayudante # 1			
	Apuntalado	Armador # 1 Ayudante # 1			
	Resoldeo	Soldador # 1 Ayudante # 2			
Preparación de la superficie	<i>Sand blasting</i>	Subcontrato	Pintor # 1 Ayudante de pintura # 1	Pintor # 1 Ayudante de pintura # 1	Subcontrato
Aplicación de pintura de base estructura	Aplicación	Pintor # 1 Ayudante de pintura # 1			

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas

La posibilidad de consignar la información correspondiente a la cantidad de colaboradores asignada por cada una de las constructoras involucradas en la investigación, genera la oportunidad de resumir la cantidad mínima necesaria de recurso humano para hacerle frente de manera eficiente a cada uno de los frentes de trabajo identificados. El *Cuadro 21* sintetiza la información descrita con anterioridad.

Es importante recalcar que la diferencia cronológica que existe entre los trabajos realizados en sitio –los cuales son ocasionales al inicio del proyecto y se manifiestan nuevamente hacia el final– y los trabajos realizados en taller, permite que el mismo personal asignado en taller sea quien haga frente a los trabajos a realizar en el sitio, tales como colocación de pernos de anclaje y placas de asiento, nivelado de estas últimas, izaje de la estructura y repinte de esta. En el siguiente cuadro se consigna el recurso humano para los trabajos de taller, el cual es suficiente para realizar la totalidad de las labores del proyecto.

CUADRO 21. ASIGNACIÓN DE CANTIDAD DE RECURSO HUMANO MÍNIMO NECESARIO POR FRENTE DE TRABAJO PARA EL PROYECTO			
Puesto	Torre	Tanque	Estructuras misceláneas
M.O taller	1		
Soldador	3	3	2
Armador	4	4	2
Ayudante	5	4	3
Peón	2	2	1
Pintor	1	0	0

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas.

Equipo y herramientas.

Uno de los componentes esenciales en cualquier proceso de producción asociado a la construcción de estructuras, es el equipo y herramientas con las que se cuenta, en virtud de que de ellas depende en gran medida la logística, el tiempo, la calidad y hasta el costo de cualquier obra. Como consecuencia de esa importancia que representa el equipamiento en el tema que nos ocupa, parte de la investigación se abocó a la identificación de

los equipos con los que cuenta cada empresa, para cada una de las actividades a realizar.

Los *Cuadros 22, 23, 24 y 25* detallados a continuación, incluyen los equipos propiedad de cada empresa, los cuales fueron identificados en cada visita, para ser utilizados en el proceso constructivo.

CUADRO 22. EQUIPO PROPIEDAD DE FERNANDEZ & VAGLIO CONSTRUCTORA PARA UTILIZAR EN LAS OBRAS	
Actividad	Descripción del equipo
Corte de metal	Tres equipos de corte de oxiacetileno completo.
Soldeo	Cuatro soldadoras estacionarias de electrodo revestido Un horno estacionario de tratamiento térmico de electrodos Tres hornos portátiles de tratamiento térmico de electrodos
Perforado de metal	Un taladro electromagnético de semibanco (portátil).
Preparación de superficie	Se realiza mediante un subcontrato con la empresa <i>Sand Blasting de Costa Rica</i> .
Aplicación de pintura	Un equipo de aplicación de pintura <i>airless</i> .
Rolado de láminas	Se realiza mediante un subcontrato con la empresa <i>Rimuca S.A.</i>
Armado de tanque	Un camión grúa de 40 toneladas de capacidad.
Montaje de la estructura	Se realiza mediante un subcontrato con la empresa <i>Grúas Nacionales RS S.A.</i> (60 T)
Herramienta menor	Suficientes amoladoras, taladros escuadras, niveles, sargentos, mazos, plomos, mangueras de nivel, cintas métricas, cinceles, alicates, brochas y cepillos.

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas.

CUADRO 23. EQUIPO PROPIEDAD DE CODOCSA S.A. PARA UTILIZAR EN LAS OBRAS	
Actividad	Descripción del equipo
Corte de metal	Una cortadora mecanizada de banco de plasma con capacidad de corte hasta 101,6mm de espesor. Una guillotina de corte capacidad de hasta 50,8mm de espesor.
Soldeo	Diez soldadoras estacionarias de electrodo revestido Un horno estacionario de tratamiento térmico de electrodos Diez hornos portátiles de tratamiento térmico de electrodos
Perforado de metal	Dos taladros electromagnéticos de semibanco (portátil).
Preparación de superficie	Un equipo de impulsión de arena a presión (<i>sand blasting</i>)
Aplicación de pintura	Dos equipos de aplicación de pintura <i>airless</i> .
Rolado de láminas	Roladora de láminas de acero con capacidad de doblez hasta 25,4mm de espesor.
Armado de tanque	Tres grúas de 15, 35 y 60 toneladas de capacidad.
Montaje de la estructura	Una grúa de 60 toneladas de capacidad
Herramienta menor	Suficientes amoladoras, taladros escuadras, niveles, sargentos, mazos, plomos, mangueras de nivel, cintas métricas, cinceles, alicates, andamios, brochas y cepillos.

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas.

CUADRO 24. EQUIPO PROPIEDAD DE INDUSTRIAS BENDIG S.A. PARA UTILIZAR EN LAS OBRAS	
Actividad	Descripción del equipo
Corte de metal	Una guillotina de corte capacidad de hasta 50,8mm de espesor.
Soldeo	Ocho soldadoras estacionarias de electrodo revestido. Tres soldadoras de electrodo revestido tipo "inversor". Un horno estacionario de tratamiento térmico de electrodos Seis hornos portátiles de tratamiento térmico de electrodos
Perforado de metal	Tres taladros electromagnéticos de semibanco (portátil).
Preparación de superficie	Un equipo de impulsión de arena a presión (<i>sand blasting</i>)
Aplicación de pintura	Un equipo de aplicación de pintura <i>airless</i> .
Rolado de láminas	Roladora de láminas de acero con capacidad de doblez hasta 25,4mm de espesor.
Armado de tanque	Se realiza mediante un subcontrato con la empresa <i>Grúas Quirós S.A.</i> (60 toneladas)
Montaje de la estructura	Se realiza mediante un subcontrato con la empresa <i>Grúas Quirós S.A.</i> (60 toneladas)
Herramienta menor	Suficientes amoladoras, taladros escuadras, niveles, sargentos, mazos, plomos, mangueras de nivel, cintas métricas, cinceles, alicates, andamios, brochas y cepillos.

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas.

CUADRO 25. EQUIPO PROPIEDAD DE INTEC INTERNACIONAL S.A. PARA UTILIZAR EN LAS OBRAS	
Actividad	Descripción del equipo
Corte de metal	Cuatro equipos de corte de oxiacetileno completo.
Soldeo	Dos soldadoras estacionarias de electrodo revestido. Cuatro soldadoras de electrodo revestido tipo "inversor". Un horno estacionario de tratamiento térmico de electrodos Cuatro hornos portátiles de tratamiento térmico de electrodos
Perforado de metal	Un taladro electromagnético de semibanco (portátil).
Preparación de superficie	Se realiza mediante un subcontrato con la empresa <i>Industrias férreas de CR S.A.</i>
Aplicación de pintura	Un equipo de aplicación de pintura mediante compresor.
Rolado de láminas	Se realiza mediante un subcontrato con la empresa <i>Rimuca S.A.</i>
Armado de tanque	Se realiza mediante un subcontrato con la empresa <i>Grúas Quirós S.A.</i> (60 toneladas)
Montaje de la estructura	Se realiza mediante un subcontrato con la empresa <i>Grúas Quirós S.A.</i> (60 toneladas)
Herramienta menor	Suficientes amoladoras, taladros escuadras, niveles, sargentos, mazos, plomos, mangueras de nivel, cintas métricas, cinceles, alicates, andamios, brochas y cepillos.

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas.

No se omite indicar que los contratos celebrados entre las empresas constructoras aquí mencionadas y las casas suplidoras de servicios tales como conformación del metal, preparación de la superficie para pintura, alquiler de grúas, entre otros, se realizan con entidades serias, de amplia trayectoria en el país en la prestación del servicio respectivo, y con la capacidad plena para

realizar la labor encomendada en cada caso. Es bastante común que este tipo de relaciones entre empresas estén precedidas por extensos periodos de vínculo, confianza y experiencia.

Restricciones de espacio en taller.

De la misma manera que en el apartado anterior, el espacio físico representa una limitante importante para el desarrollo de las obras, ya que este influye directamente en aspectos relacionados con el avance, resguardo, logística y costos de las estructuras como tal.

El panorama construido a partir de las inspecciones realizadas a las empresas Fernández & Vaglio Constructora, CODOCSA, Industrias Bendig S.A. e INTEC Internacional S.A. sugiere que no existe una limitante real en sitio para la fabricación, almacenaje, procesamiento, manipulación y carga de los subcomponentes de la superestructura.

La verificación arrojó que las constructoras cuentan con áreas extensas y techadas que asilan y controlan condiciones atmosféricas adversas a los procesos de soldeo, preparación de superficie y colocación de pintura, a la vez ofrecen espacios importantes para la manipulación de carga, el ensamblaje del tanque y almacenaje de subcomponentes. Aunado a esto, los accesos y vías internas son lo suficientemente amplios para el ingreso y traslado de maquinaria y equipo pesado de trabajo y de transporte

La *Figura 17* corresponde al predio de la empresa Fernández & Vaglio Constructora en Purral de Guadalupe de San José. En esta se observa parte del espacio disponible para la fabricación de estructuras. Mismo que se compone de un terreno basto que presenta un área cercana a los 3000m², la cual incluye una superficie apta para el soldeo de estructura y trabajos de pintura de 2500m² de área. Además, la *Figura 18* ofrece un panorama de la parte externa de la zona de manejo de maquinaria, carga y descarga disponible para las obras en dicha empresa.

Figura 17. Nave industrial de fabricación de la empresa Fernández & Vaglio Constructora S.A.



Fuente: captura propia durante la visita realizada.

Figura 18. Plantel externo de la empresa Fernández & Vaglio Constructora S.A.



Fuente: captura propia durante la visita realizada.

Por otra parte, en el caso de la empresa CODOCSA (adjudicatario de la contratación), esta cuenta con una de las mejores infraestructuras para la fabricación de obras metalmecánicas, ubicada en Santo Domingo de Heredia. La *Figura 19* describe una porción de esas condiciones físicas (con cerca de 2150m² para los diferentes procesos), las cuales también se pueden constatar en la *Figura 6*.

También en la *Figura 20* se observa la capacidad de área externa de la empresa, para la manipulación de equipo, carga, estructura, etc.

Figura 19. Nave industrial de fabricación de la empresa CODOCSA.



Fuente: captura propia durante la visita realizada.

Figura 20. Plantel externo de la empresa CODOCSA



Fuente: captura propia durante la visita realizada.

En referencia a la penúltima de las constructoras abordadas en el análisis, es decir, Industrias Bendig S.A., cuenta también con una infraestructura adecuada para la elaboración de obras grandes que requieren de espacios físicos importantes, pues el metraje cuadrado para la fabricación sobrepasa los 2000m² con óptimas condiciones de trabajo, con una zona de manipulación, carga y descarga de aproximadamente 650m². En la *Figura 21* se observa la nave de fabricación, la cual se sitúa en Gravilias de Desamparados de San José.

Figura 21. Nave industrial de fabricación de la empresa Industrias Bendig S.A.



Fuente: captura propia durante la visita realizada.

Por otra parte, la *Figura 22* retrata las condiciones externas de la nave de fabricación de estructura, la cual se puede utilizar para reforzar trabajos de fabricación, pintura e inclusive carga y descarga.

Figura 22. Plantel de la empresa Industrias Bendig S.A.



Fuente: captura propia durante la visita realizada.

Por último, la *Figura 23* corresponde al predio de fabricación de la empresa Intec Internacional S.A. en la ciudad de Cartago. La zona de fabricación de estructura presenta las condiciones necesarias para una elaboración de óptima calidad, con un área de aproximadamente 900m² incluidos dentro de una propiedad de 2000m² de

superficie total. Adicionalmente existe una propiedad adjunta a unos 800 metros de distancia, la cual es propiedad de la empresa y puede ser utilizada para trabajos de preparación de superficie, aplicación de pintura, almacenaje de estructuras listas, entre otros. El área de trabajo de la zona anexa alcanza los 600m².

Figura 23. Porción de la nave de fabricación de la empresa Intec Internacional S.A.



Fuente: captura propia durante la visita realizada.

Al igual que en los casos anteriores, la empresa cuenta con una zona apta para el manejo de las maquinarias y cargas originadas por las obras, la cual se observa en la *Figura 24*.

Figura 24. Plantel de la empresa Intec Internacional S.A.



Fuente: captura propia durante la visita realizada.

Restricciones de transporte

En función de las condiciones de infraestructura mencionadas con anterioridad, está claro que las limitaciones de carga son pocas y básicamente no representan un problema mayor dentro de la logística de fabricación del proyecto.

El sondeo realizado en la etapa de recolección de información, es claro en definir que las empresas constructoras utilizan de manera indiferenciada el tractocamión con remolque para el traslado de los diferentes elementos de las estructuras. Dicho vehículo se denomina en el *Reglamento de circulación por carretera con base en el peso y las dimensiones de los vehículos de carga* como T3-S2, el cual es conocido como el arreglo de tráiler más carreta. Además, como se mencionó en el *Cuadro 5*, la capacidad de carga del automotor es de 22500 kilogramos distribuidos en una carga máxima de 21 metros de largo y 4.15 metros de altura.

Por otra parte, el *Cuadro 26* resume la determinación y el cálculo de pesos de los diferentes elementos a transportar de la megaestructura, así como de sus dos componentes principales. Con base en la información de pesos definida, se realiza la planificación del transporte al sitio.

CUADRO 26. PESOS DE ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA		
Elemento	Peso (kg)	Longitud (m)
MEGAESTRUCTURA		
Tanque de almacenamiento	183520	17,53
Estructura de soporte	17520	16,10
SUBESTRUCTURAS TRANSPORTABLES		
Reservorio	16000	7,93
Columnas	6585	16,65
Arriostres en total	9915	9,36 (*)
Estructuras misceláneas	3600	16,00 (*)

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados.
(*) El elemento más crítico por su mayor longitud.

Una vez definidas las limitaciones de peso y las dimensiones máximas de los componentes de la estructura principal, es fundamental determinar

que no existe ninguna subestructura que supere los valores máximos de longitud o peso, por lo que la asignación de la carga máxima posible a cada viaje, se puede distribuir de manera óptima. El *Cuadro 27* resume la logística de viajes para el traslado de los componentes metálicos del proyecto, según su orden de producción.

CUADRO 27. LOGÍSTICA DE VIAJES PARA EL TRASLADO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA				
Viaje	Elemento	Peso	Longitud (m)	Vehículo
1	Columnas	16500	16,65	T3-S2
2	Arriostres 1	6300	9,36	T3-S2
3	Arriostres 2 y tuberías de trasiego	6200	16,00	T3-S2
4	Estructuras misceláneas	3600	9,50	Camión sin remolque
5	Reservorio	16000	17,53	T3-S2

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados.

Seguridad y salud ocupacional

Una de las piedras angulares de un proceso productivo cualquiera —con sobrada razón en la rama de la construcción— y que merece ser mencionado en un capítulo por aparte, es la seguridad laboral.

El reconocimiento realizado en las diferentes localidades de las empresas analizadas, permitió constatar que principalmente en dos de ellas —CODOCSA e Industrias Bendig— está claramente definida una robusta cultura de seguridad ocupacional, la cual es importante de mencionar. En muchos de los casos se ha tenido que recurrir a medidas extremas para el forjamiento de esa educación, sin embargo, es fundamental que su propagación y uso estén arraigados en las labores diarias, pues puede significar la diferencia entre la vida y la muerte. Esas medidas van desde la sanción verbal o escrita, la incapacidad para laborar en planta por la no portación del equipo de seguridad personal e

inclusive, hasta el despido sin responsabilidad patronal en casos de desobediencia o reincidencia.

El abordaje de aspectos de seguridad laboral por parte de las empresas constructoras mencionadas, se realiza básicamente desde tres ejes principales a saber: Equipo de seguridad personal, Trabajos en altura y Manipulación de carga.

En el caso del equipo de seguridad personal, este es otorgado por las empresas a cada colaborador, sin embargo, como su nombre lo indica, es responsabilidad de cada trabajador su resguardo y portación en cada caso. Cabe mencionar que dichas constructoras cuentan dentro de su planilla con un ingeniero en salud ocupacional, quien realiza la totalidad de las gestiones necesarias propias de su competencia, tanto en taller como en sitio, para que las regulaciones sean respetadas y acatadas. Las directrices de acatamiento están basadas en el *Reglamento de seguridad en construcciones* y sus decretos, modificaciones y nomas adicionales vigentes (Decreto 11074–TSS del 05 de mayo de 1980, Norma INTE ISO 11228–1 y Norma INTE 31–09–15–00).

El tipo de protección varía según sea la labor realizada por cada persona, en virtud de que la naturaleza de cada trabajo así lo determina. En el *Cuadro 28* se resume el equipo de seguridad otorgado según el cargo que desempeña cada trabajador dentro de las empresas en cuestión.

CUADRO 28. EQUIPO DE SEGURIDAD PERSONAL BÁSICO SEGÚN EL CARGO DESEMPEÑADO	
Puesto	Descripción del equipo
Soldador y armador	Máscara para soldar completa Guantes de cuero de soldador Camisa de manga larga Zapatos de seguridad para soldar Mangas de cuero Delantal de cuero Gorro de soldador Mascarillas Tapones auditivos Arnés de seguridad completo *
Ayudante y peón	Casco de seguridad Chaleco de seguridad Zapatos de seguridad Lentes de seguridad Guantes de protección Cinturón lumbar Tapones auditivos Careta para esmerilar Arnés de seguridad completo *
Pintor y ayudante de pintura	Casco de seguridad Chaleco de seguridad Zapatos de seguridad Lentes de seguridad Guantes de protección Máscara disolución de orgánicos Mascarillas Tapones auditivos Arnés de seguridad completo *

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas.

* En caso de ser necesaria su utilización.

La normativa interna de los trabajos en altura hace referencia al *Código* y sus modificaciones, para definir criterios y recomendaciones de protección contra caídas, manejo de andamios y escaleras principalmente.

Se definen para el trabajo dentro de la empresa y en el sitio del proyecto, los mismos aspectos de seguridad definidos en el *Reglamento* para la altura mínima de aseguramiento, tipo de andamiaje, factores de seguridad para su diseño, criterios para el descarte de elementos dañados y de inspección de dispositivos como arnés, cinturones de seguridad, entre otros; sin omitir la referencia para las líneas de vida y elementos de vital importancia. El uso de escaleras se restringe exclusivamente a ejemplares de fibra de vidrio de

condición antiestática y dieléctrica, al mismo tiempo que se promueve el uso de andamios de seguridad con las siguientes especificaciones:

- Barandas de 0.90m de altura con barra intermedia y rodapié de 0.10m de longitud en todos los niveles de plataforma.
- Factor de seguridad de 2,00 para su diseño y operación.
- Capacitación para el desarrollo de criterios de descarte de elementos o componentes de los sistemas.
- Arriostamiento adecuado para evitar los movimientos bruscos de los andamios que operen con sistemas de bases de apoyo móviles.
- Fijamiento adecuado de los andamios que operen con sistemas de bases de apoyo fijas, sobre superficies adecuadas y resistentes.

Por su parte, el manejo de cargas se divide en dos tipologías, según sea la magnitud de la masa a manipular, es decir, carga manual y carga mecánica. En *Cuadro 29* resume los límites de peso para manipulación de carga manual aplicados.

CUADRO 29. LÍMITES DE PESO PARA MANIPULACIÓN DE CARGA MANUAL	
Género del colaborador / a	Carga (kg)
Mujer entre 16 y 19 años	10
Mujer mayor de 19 años	15
Hombre entre 16 y 19 años	15
Hombre mayor de 19 años	20

Fuente: Decreto 11074–TSS del 05 de mayo de 1980.

Para el caso del movimiento de cargas mecanizado, las directrices de operación definidas son:

- La elevación y descenso de cargas se debe hacer lentamente, evitando movimientos bruscos o violentos.
- En todo momento el operador de la grúa debe contar con el o los asistentes necesarios para el señalamiento de manejo de cargas.
- Tanto el operador, como los asistentes deben conocer el código de comunicación.
- No se permite la permanencia de ninguna persona en la vertical del izaje de cargas, viajar sobre estas, en ganchos o eslingas.
- No se permite dejar la grúa suspendida.

- Se debe respetar en todo momento el *Diagrama de carga en función del alcance* del fabricante y debe estar visible en el 100% de la operación.

- Los sistemas de estabilización del equipo (bancas) deben estar en perfecto estado.
- El equipo debe estar equipado de sistemas luminosos y auditivos.
- La verificación de los aditamentos de izaje debe ser semanal y debe evitar la formación de nudos, torceduras, deformaciones y desgarre de tejidos.
- Al utilizar aditamentos de sujeción de dos o más ramales, el ángulo formado entre estos y el gancho de fijación recomendado es de 60° y en ningún caso debe ser mayor a 90°.
- Es fundamental respetar y no exceder los factores de seguridad recomendados para la operación de carga mecanizada.

En virtud de su importancia, el *Cuadro 30* resume los principales factores de seguridad a utilizar en el diseño y operación de procesos que involucren la utilización de grúas.

CUADRO 30. FACTORES DE SEGURIDAD PARA MANIPULACIÓN MECANIZADA DE CARGA	
Descripción	Factor de seguridad
Aditamentos para izado y transporte de cargas	10
Cables de la grúa	6
Aditamentos para transporte de cargas	5
Elementos estructurales de la grúa	3

Fuente: Reglamento de seguridad en construcciones.

En lo que respecta a las compañías restantes participantes del análisis, es decir, Fernández & Vaglio Constructora S.A. e Intec Internacional S.A., cuentan con un músculo de articulación de salud ocupacional menos vigoroso, lo que finalmente se traduce en una cultura apenas perceptible de seguridad laboral, en comparación con los dos casos supracitados.

En dichas empresas no existe una persona u órgano encargado del manejo de la seguridad laboral como tal, por lo tanto, las decisiones, directrices y control de ejecución son prácticamente nulos, pues todo el esfuerzo para

proteger la integridad del trabajador se resume en el uso del equipamiento básico de seguridad y a la aplicación de los cuidados elementales para el manejo manual y mecanizado de cargas.

En el *Cuadro 31* se indica el equipo de seguridad utilizado por parte de estas dos empresas para los trabajos definidos en los diferentes frentes de trabajo.

CUADRO 31. EQUIPO DE SEGURIDAD PERSONAL BÁSICO SEGÚN EL CARGO DESEMPEÑADO	
Puesto	Descripción del equipo
Soldador y armador	Máscara para soldar completa Zapatos de seguridad para soldar Delantal de cuero Tapones auditivos Arnés de seguridad completo *
Ayudante y peón	Casco de seguridad Chaleco de seguridad Lentes de seguridad Tapones auditivos Arnés de seguridad completo *
Pintor y ayudante de pintura	Casco de seguridad Chaleco de seguridad Lentes de seguridad Guantes de protección Máscara disolución de orgánicos Tapones auditivos Arnés de seguridad completo *

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas.

* Cuando es necesario su utilización.

Como se mencionó anteriormente, en cuanto al manejo de cargas, los requerimientos son mínimos y en ambos casos se ignora parte de la normativa vigente sobre el tema, como lo es el Decreto 11074–TSS para la operación de cargas de manera manual (citado con anterioridad en el *Cuadro 29*). Cuando se trata del manejo mecanizado de bultos, el hecho de realizar un contrato de alquiler por las grúas antepone las directrices de seguridad de la empresa que brinda el servicio sobre las del contratista de la obra, ya que los equipos son rentados con su respectivo operario, quien en muchos de los casos define las condiciones de seguridad con criterio previo y bases técnicas.

Las previsiones contempladas para el uso de equipo mecanizado de izaje de cargas en estos casos, se resumen en los siguientes aspectos:

- La elevación y descenso de cargas se debe hacer lentamente, evitando movimientos bruscos o violentos.
- En todo momento el operador de la grúa debe contar con el o los asistentes necesarios para el señalamiento de manejo de cargas.
- Tanto el operador, como los asistentes deben conocer el código de comunicación.
- No se permite la permanencia de ninguna persona en la vertical del izaje de cargas, ni viajar sobre estas, en ganchos o eslingas.
- Se debe respetar en todo momento el *Diagrama de carga en función del alcance* del fabricante y debe estar visible en el 100% de la operación.
- Los sistemas de estabilización del equipo (bancas) deben estar en perfecto estado.

Diseño del proceso productivo estándar de tanques elevados.

Una vez procesada la totalidad de la información obtenida en las entrevistas aplicadas gracias a la colaboración de personeros de las constructoras sujetas a la investigación y analizados los aspectos de mayor importancia asociados a la logística constructiva, mano de obra involucrada, equipo y herramientas, limitaciones de espacio de trabajo y de transporte y finalmente temas de salud ocupacional, se procede a condensar todos los datos obtenidos con la finalidad de generar un proceso constructivo estándar para tanques elevados metálicos de almacenamiento de agua potable. El producto responde a un procedimiento integral y optimizado, según los amplios criterios generados durante la aplicación de los controles de calidad de los diferentes procesos de producción de estructuras similares en el AyA en los últimos diez años, aunado a la experiencia, aprendizaje y habilidades acumuladas por las empresas ejecutantes de dichas obras. Dicho procedimiento se observa completo en el *Apéndice 6* y es abordado ampliamente más adelante.

La formulación de un procedimiento de fabricación de la estructura absoluta que sea consecuente, realista y correctamente dimensionado, generado a partir de

procedimientos preconcebidos que hayan sido satisfactorios, es una práctica común dentro del ámbito de la producción, ya que genera buenos réditos y respalda de manera técnica la información. Debe contemplar en buena medida la experiencia generada por la ejecución de las obras previas, por cuanto los procesos están siendo modificados constantemente por los imprevistos, problemas solucionados y las lecciones aprendidas.

El manejo integral de la productividad define el proceso de producción como la base indispensable de cualquier metodología de elaboración de productos en específico, estableciendo parámetros esenciales de este. Dichos aspectos están relacionados con una determinación puntual de qué hacer y cómo hacerlo, lo que finalmente se reflejará en trazas cuantificables como tiempo y dinero, según lo define la técnica de *mapeo de procesos*.

Dicho método se basa en una identificación y análisis de procesos realizados para identificar demoras, cortes de producción, movimientos repetitivos y costos ocultos, con la finalidad de depurar la técnica y mejorar resultados.

En virtud de lo anterior, el procedimiento de construcción de los tanques metálicos elevados de contención de agua potable, se establece mediante una definición clara de las actividades y tareas que deben ejecutarse, acompañado del tipo y periodicidad de la inspección a realizar de dichas labores y los parámetros de aceptación de obras de vital importancia como corte y fabricación de elementos, soldadura y pintura, amparados en la normativa vigente respectiva.

Es importante recalcar que la ejecución de las obras se realiza a partir de cuatro frentes de trabajo, de los cuales tres de ellos se deben realizar de manera paralela en el taller de fabricación, mientras que el último –relativo a los trabajos por realizar en el sitio– se opera en diferentes momentos del avance de la obra, por parte del mismo personal involucrado en las obras de metalmecánica.

De manera previa al inicio de la fabricación en taller de la estructura metálica, se debe hacer la revisión y aprobación de algunos requisitos y documentos que deben ser revisados por la inspección del AyA, para su correspondiente aprobación. La verificación del cumplimiento de las especificaciones de la etapa previa a la construcción, se hará mediante el formulario

denominado *Ficha de supervisión, Visita previa al inicio de fabricación de obra*.

Posteriormente se autoriza el proceso de producción, el cual está definido en su totalidad, involucrando los aspectos básicos de fabricación de la estructura, su inspección y su aprobación.

Por último, una vez concluidos los trabajos de taller, se concretan las tareas de elaboración en el sitio del proyecto, su alcance, inspección y parámetros de rechazo. Cada una de las etapas descritas con anterioridad, cuenta con su *Ficha de supervisión* respectiva, para documentar técnicamente el avance de la fabricación.

El *Cuadro 32* sintetiza el proceso de producción de la estructura en sus respectivas etapas.

CUADRO 32. PROCESO CONSTRUCTIVO ESTÁNDAR DE TANQUES METÁLICOS ELEVADOS DE AGUA POTABLE.

Etapa	Actividad
Requisitos previos al inicio de obras	<ul style="list-style-type: none"> - WPS - QPR - Certificación de soldadores - Planos de taller - Revisión previa de materiales - Subcontratistas
Estructura de soporte	<ul style="list-style-type: none"> - Columnas - Placas de unión y atezadores - Arriostres horizontales - Arriostres inclinados - Recuperación de superficie - Aplicación de pintura base
Reservorio	<ul style="list-style-type: none"> - Rolado de láminas de tanque - Tapas planas de extremos - Anillos extremos e intermedios - Pasarela interna - Armado de tanque - Colocado de la pasarela interna - Soldeo de patines superiores de ménsula - Recuperación de la superficie - Aplicación de pintura base
Estructuras misceláneas	<ul style="list-style-type: none"> - Pasarela externa - Barandas de pasarela externa - Ménsulas de apoyo del tanque - Escalera de acceso al tanque - Tuberías de entrada, salida y rebose - Acceso al tanque y respiraderos - Recuperación de la superficie - Aplicación de pintura base

Fuente: elaboración propia con base en la información obtenida en las entrevistas.

Dentro del procedimiento descrito se incluye el equipo y maquinaria necesarios para las obras, las directrices de salud y seguridad ocupacional respectivas (equipo básico, trabajos en altura y manejo de cargas), así como la cantidad de

recurso humano necesario para la consecución de la obra.

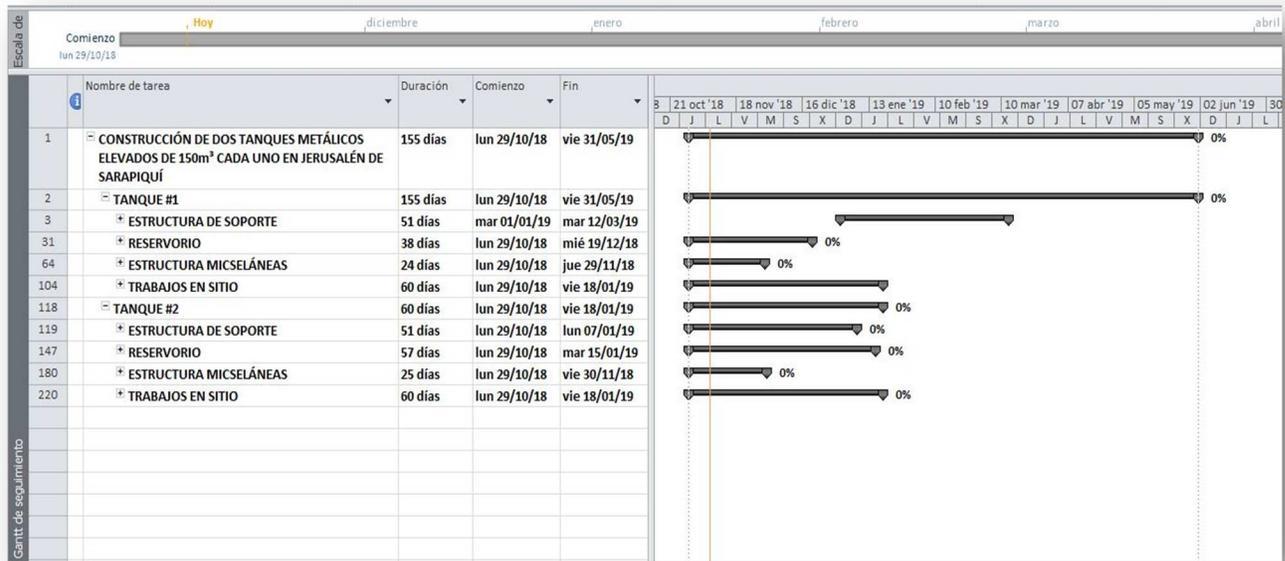
Con la finalidad de corroborar que el planteamiento realizado obedece a una lógica razonable y que está generada a partir de un proceso previo de efectividad comprobada, se realizó la programación de las actividades y tareas que conforman el proyecto para los dos tanques incluidos en el mismo, traslapando la fabricación de ambos elementos mediante el desarrollo pleno del método de fabricación propuesto en cada caso, gracias a las duraciones aproximadas indicadas por el adjudicatario de la obra –CODOCA– según sus experiencias previas en tanques de igual envergadura.

En la *Figura 25* se observa la duración total de la programación esperada resumida para el despliegue de las labores de ambas estructuras, la asignación de recursos y la duración total de la fabricación de estructura metálica, cuyo intervalo de tiempo es menor al periodo contractual de la obra definido en el cartel de licitación de 06 meses, ya que, según dicha programación, la fabricación se realizará en 155 días, tiempo que equivale a 5.12 meses, cuya duración efectivamente es menor al tiempo otorgado en el pliego cartelario para construir la obra.

La programación está basada en el desarrollo secuencial de las actividades y tareas según el procedimiento propuesto para los tanques 1 y 2 y contemplando las duraciones indicadas. Además, la asignación de personal se realizó según la cantidad mínima requerida de personal para cada frente de trabajo, y bajo el supuesto de que cada cuadrilla encargada de una actividad en específico culminará las labores del primer tanque e inmediatamente activará las del segundo, en un proceso continuo.

Es importante mencionar que el proyecto se compone de obras adicionales y complementarias a la obra de metalmecánica, tales como cimientos, aceras, tapia perimetral, accesos, entre los más importantes, de ahí que la duración del proyecto definida en el cartel sea mayor a la esperada para construir la estructura metálica, en virtud de la atención de las labores complementarias descritas de forma paralela a la realizada en taller.

Figura 25. Programación de la fabricación del proyecto incluyendo los dos tanques.



Fuente: elaboración propia

Visto de manera integral, el *Proceso constructivo estándar de tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua potable* es un documento que está integrado por seis apartados, los cuales delimitan las pautas a seguir para fabricar este tipo de estructura metálica en específico. El alcance de los criterios de fabricación y aceptación de obra que define el procedimiento anteriormente nombrado se relaciona con las actividades previas a la construcción, el desarrollo de las estructuras como tal, qué se va a inspeccionar, cómo se hará el control de calidad, qué equipo se debe de utilizar, así como consideraciones básicas de seguridad ocupacional y mano de obra mínima requerida.

Los seis puntos de contenido del documento de guía supracitados se enumeran a continuación:

- Descripción de las obras.
- Consideraciones importantes.
- Proceso constructivo estándar de tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua potable.
- Equipo y maquinaria necesarios para el p Proceso constructivo estándar de tanques

metálicos elevados para almacenamiento de agua potable.

- Seguridad y salud ocupacional.
- Mano de obra involucrada en el proyecto.

A continuación se detalla de una manera más pormenorizada su contenido, aplicación y enfoque.

Descripción de las obras.

Se refiere básicamente a la definición y caracterización de los tres grandes grupos de elementos que conforman la megaestructura del proyecto, es decir, la estructura de soporte, el reservorio y las estructuras misceláneas, las cuales son todos aquellos componentes que no están incluidos en las primeras dos categorías (tales como tuberías, escalera de acceso, pasarelas, barandas, accesos y respiraderos, entre otros).

Consideraciones importantes.

Dentro de este aspecto se desarrollan una serie de premisas de vital importancia para la fabricación de los tanques metálicos. Es decir, se definen una

serie de parámetros a cumplir para garantizar el éxito de un proceso constructivo de tanques de almacenamiento metálicos, así como sus criterios de aceptación o rechazo de los trabajos realizados, con la intención de ejecutar un control de calidad adecuado.

Varios de los argumentos definidos en el apartado están relacionados a temas varios tales como: aspectos básicos de caracterización de variables involucradas, periodicidad de las inspecciones, definición de los frentes de trabajo a desarrollar y personal idóneo para la coordinación y control durante la ejecución del procedimiento.

Uno de los puntos de mayor interés contenidos dentro de la sección, guardan una relación directa con la inspección de las tareas y actividades realizadas dentro de los frentes de trabajo que constituyen el proyecto, en virtud de que éstos determinan los puntos de comparación para la aprobación de los trabajos en dos áreas de especial interés para la Institución, a saber: soldadura y pintura.

El cuadro 2 y el punto 7 (del documento incluido en el *Apéndice 6*) contienen respectivamente los criterios mínimos de aceptación y tolerancia de discontinuidades para uniones soldadas mediante cordones de filete, tope y relleno (soldeos a utilizar en las obras) para la inspección visual de las mismas, así como las pautas relacionadas a la interpretación de resultados obtenidos de la aplicación de pruebas de líquidos penetrantes en uniones soldadas escogidas de manera aleatoria o como consecuencia de la evidencia de manifestación de alguna de las discontinuidades definidas anteriormente.

Por otra parte, en cuanto a los trabajos de pintura, se incluyen los parámetros de aceptación de la aplicación de la misma, en referencia a los posibles defectos surgidos a raíz de una colocación inadecuada de las películas de protección del metal, tomando en cuenta de manera importante la preparación correcta de la superficie a proteger, así como las consideraciones definidas por el fabricante en la ficha técnica de cada producto.

Además, en el cuadro 3 se define el alcance general y la descripción detallada de la inspección a realizar por cada una de las tareas que se definen en el proceso, en otras palabras, el cuadro establece qué aspecto se debe verificar y constatar en cada caso, según sea la tarea que se está realizando en cualquiera de las etapas del proceso de construcción.

Recapitulando, el presente apartado define qué se debe hacer, cómo se debe realizar y quién será el encargado de la implementación de las actividades relacionadas al control de calidad del proyecto.

Cabe recalcar que todas las determinaciones de calidad sugeridas en el procedimiento desarrollado, cuentan con su asidero técnico en relación con la normativa vigente correspondiente a cada aspecto.

Proceso constructivo estándar de tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua potable.

Una vez definidos los frentes de trabajo a desarrollar para la consecución del proyecto, es de vital importancia definir cuáles son los pasos a seguir para la fabricación de cada uno de los elementos que dan pie a la megaestructura como tal. Por lo tanto, en la presente sección se definen todas y cada una de las tareas que componen las actividades detalladas en párrafos anteriores, de manera que sea posible implementar un listado de procedimientos de fabricación abocado a la consecución de la obra.

Según se indica en el *Cuadro 32*, en él se resumen la totalidad de las tareas que componen cada una de las actividades sugeridas en función de su naturaleza, es decir: requisitos previos, estructura de soporte, reservorio, estructuras misceláneas y trabajo en sitio, según sea el caso. Vale la pena recalcar que la totalidad del listado de actividades y su descripción detallada se abarcan de forma exhaustiva en el *Proceso constructivo*, donde cada una de esas etapas constructivas cuenta con su respectiva *Ficha de supervisión de trabajos de metalmecánica*, para garantizar la adecuada documentación del proceso de control de calidad de manera escalonada, la identificación de las falencias constructivas asociadas a la elaboración de estructura y la verificación de la implementación de las medidas correctivas para la subsanación de dichos errores.

Equipo y maquinaria necesarios para el Proceso constructivo estándar de tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua potable.

El apartado en mención detalla la descripción del equipo, herramientas y maquinarias necesarias para llevar a cabo cada una de las actividades descritas, lo que finalmente se traducirá en la fabricación de los componentes de la estructura.

Resulta de vital importancia contemplar el equipo necesario para la elaboración de un determinado proceso productivo, ya que éste resulta ser un insumo indispensable en la obra y está asociado directamente a variables fundamentales para la obra tales como: calidad, tiempo y costo.

La diferencia entre contar o no con una herramienta o maquinaria específica para un determinado trabajo, puede significar una diferencia importante principalmente en el costo de una tarea, actividad o proyecto, por lo que este aspecto juega un papel hegemónico en la planificación y la ejecución de las obras.

Seguridad y salud ocupacional.

En la rama de la construcción, al igual que en muchas otras ocupaciones, la seguridad laboral juega un papel preponderante en la ejecución de trabajos, ya que está asociado directamente a la preservación del bien más importante con el que puede contar cualquier colaborador de determinada empresa, independientemente del rango de su puesto, la vida.

La salud es un factor fundamental para la correcta ejecución de una tarea, sin que esto signifique una disminución de la calidad de las obras, o bien un detrimento de la vitalidad de un trabajador.

En virtud de lo anterior, el *Proceso constructivo estándar de tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua potable* establece una serie de lineamientos en la materia, con la finalidad de que sean exigidos por el AyA al contratista correspondiente y generar así una cultura de seguridad y salud ocupacional seria, robusta, homogénea, que dote de un ambiente de

tranquilidad a los trabajos en los que se involucra el nombre del Instituto.

En respuesta a esa necesidad, dentro del documento se citan una serie de aspectos de cumplimiento acatatorio, que buscan proteger la vida humana, sin sacrificar el beneficio percibido por la contratación de un proyecto ni la calidad de las obras asociadas a este.

Dichas directrices se dividen en tres grandes campos de acción dentro de un proyecto, los cuales son de los más recurrentes en la fabricación de obra y al mismo tiempo corresponden –en muchos casos– a los más desatendidos por las empresas adjudicadas. Las disposiciones citadas involucran los siguientes puntos: equipo de seguridad básico por colaborador, disposiciones de seguridad para trabajos en altura (uso de escaleras, andamios y equipo anticaídas) y disposiciones de seguridad para manipulación mecanizada y manual de carga.

La participación activa de cada trabajador, así como el cumplimiento de todos los lineamientos descritos en este apartado, deben ser de acatamiento obligatorio en cada lugar de trabajo, incorporados de tal manera al quehacer diario, de forma que no sean percibidos como una imposición, sino más bien como una herramienta poderosa para salvaguardar la vida humana.

Mano de obra involucrada en el proyecto.

Cada una de las empresas constructoras realizan el manejo del personal según sus capacidades, experiencia y condiciones, sin embargo, el aspecto relacionado al recurso humano involucrado en una obra está directamente relacionado al éxito económico y de calidad de la misma, ya que es directamente responsable de la coordinación, ejecución y control de los trabajos realizados para el proyecto.

Derivado de esa importancia, la sección mencionada establece una cantidad mínima de colaboradores necesarios para ejecutar los cuatro frentes de trabajo, según sea el tipo y rango del puesto que se requiere, es decir, encargado de taller, soldadores, armadores, ayudantes, peones y pintores.

Como se mencionó anteriormente, cada contratista representa una manera diferente del uso de la mano de obra en su proyecto en

específico, sin embargo, según los requerimientos de tiempo y calidad definidos por el AyA en el cartel de licitación, la lista propuesta de colaboradores es un buen parámetro para el cálculo de costos y tiempos asociados a la fabricación de las estructuras que componen el proyecto, sin que esto signifique una baja considerable en la calidad final del producto.

Análisis de los resultados

Fase 1: Propuesta de mejora de la estructura de soporte.

Al comparar la información que se desprende de la descripción de la problemática asociada a la construcción de los elementos descritos, con la experiencia previa acumulada en la Institución durante la inspección de obras similares, en las cuales la estructura de soporte se ha fabricado según se determinó en los planos constructivos, se evidencia que existen una serie de lecciones aprendidas que respaldan la posición que enfatiza que la construcción de esos miembros está caracterizada por ser una tarea con un grado de complejidad elevado, la cual genera efectos negativos sobre el fin de la Institución, que es dotar de agua potable de la manera más expedita posible a una determinada población.

El alcance de la dificultad trasciende a varios ámbitos del proyecto, afectando aspectos de calidad, tiempo, costo, vida útil e inclusive estética de las obras. Dichos aspectos no pueden quedar a la deriva en un proyecto de esta magnitud, pues en gran medida, de ellos depende el éxito de este, un correcto uso de los fondos de dominio público, la imagen del contratista como empresa responsable y desde luego la imagen del AyA.

Las empresas constructoras que poseen la infraestructura, experiencia y capacidad para la ejecución de los proyectos, son las primeras afectadas con las disposiciones estructurales y deben de buscar la manera de generar un cambio positivo en el proyecto, planteando formalmente (con su debido asidero y respaldo técnico), una alternativa para optar por el uso de elementos de mucho más fácil manejo y procesamiento, pensando no solamente en alivianar el

procedimiento de elaboración, sino también la etapa de mantenimiento de las obras, que afecta directamente la vida útil que pretende el proyecto y las posteriores reparaciones del AyA o la ASADA respectiva, para ejecutar planes de conservación de las obras.

La acción correctiva debe ser tomada por los adjudicatarios de las obras, en virtud de la negligencia del Instituto, que es incapaz de modificar un diseño preestablecido que se haya venido utilizando a lo largo de un intervalo de tiempo definido, sin embargo, no cuenta con el clima organizacional necesario para definir una adecuada retroalimentación que facilite identificar y ejecutar las posibles mejoras a realizar, y que sean implementadas a la mayor brevedad posible. Todo lo anterior, a sabiendas de que existen advertencias extendidas por la contraparte de la Institución encargada de la inspección y construcción de la obra, así como del adjudicatario respectivo, en muchos momentos del proceso de contratación, inclusive desde etapas muy tempranas.

En reiteradas ocasiones la toma de decisiones relacionada con la generación de un cambio positivo en la construcción del proyecto, se realiza de manera atropellada e involucra atrasos, suspensión de obras y trámites engorrosos innecesarios, criticados por la misma entidad del AyA encargada del diseño estructural, quien es la señalada para erradicar la práctica de publicación de este tipo de obras de concepción preestablecida con estructuras de soporte poco eficientes.

Se debe realizar una mención especial a la información contenida en el *Cuadro 3* y el *Cuadro 6* sobre el peso total de las diferentes estructuras, de ellos se desprende que la resta entre ambos pesos corresponde a 15600 kilogramos. Basado en el promedio de los precios de construcción de tanques metálicos similares consultados a las cuatro empresas participantes del análisis,

–cuyo valor es de 9 dólares por kilogramo de estructura, incluyendo materiales, construcción y acabados– el ahorro obtenido por la implementación de la mejora en la estructura de soporte asciende a \$140,400, es decir, unos ₡89.154.000,00¹ por ambos tanques. El monto total de la adjudicación realizada a la empresa CODOCSA corresponde a ₡480.818.825,00, por lo que el ahorro que se lograría con el cambio sugerido corresponde a un 21,28% de ese rubro. Dicho porcentaje representa un monto suficientemente importante dentro del presupuesto de la obra, el cual puede ser redireccionado para dotar de contenido presupuestario a cualquier otra actividad, lo que finalmente se traduciría en un uso más eficiente y eficaz de los fondos públicos, de cara a una situación nacional financiera y fiscal comprometida.

En virtud de todo lo mencionado con anterioridad, se considera pertinente realizar una iniciativa que involucre las partes inmiscuidas en la consecución del proyecto, es decir, unidad de diseño, unidad ejecutora y contratistas encargados de la construcción de las obras, con la finalidad de definir un plan de acción para modificar el diseño estructural y promover así un uso correcto de los recursos económicos de la Institución, mediante obras seguras, eficientes, de precios razonables y acordes a la realidad nacional de disponibilidad de materiales y austeridad financiera.

Fase 2: Revisión estructural del planteamiento.

Definición de secciones y cargas.

El *Cuadro 1* contiene una descripción de las secciones propuestas para la sustitución de elementos de la estructura original. El planteamiento de los miembros respectivos se realiza utilizando un criterio previo de posible dimensionamiento de elementos, en función de

¹ Valor considerando tipo de cambio de 635 colones por dólar

lecciones aprendidas y un análisis rápido del área de secciones transversales definidas en planos en proyectos realizados con anterioridad, los cuales consideran el uso de elementos de tubo redondo.

Es importante no perder de vista en este tipo de tareas la disposición a nivel nacional de los elementos seleccionados. La escogencia de tubos de 200 y 300 mm de diámetro para los arriostres y columnas respectivamente, se adapta a esos requerimientos y existencias y al precepto que se ha venido manejando durante la ejecución del trabajo, de dotar la estructura de elementos de mayor facilidad constructiva.

Por otro lado, en el *Cuadro 3* se resumen cargas calculadas para los pesos de los elementos y estructuras que participan. En el caso de la estructura de soporte, el cálculo realizado de manera manual arrojó que la estructura soportante pesa en total 20200 kilogramos, mientras que el peso *DEAD* obtenido del *SAP2000* se cuantificó en 19865 kilos. La diferencia entre ellos es de 1,65%, por lo que se considera que es aceptable. En el caso del reservorio, el dato calculado de manera manual indica que se tienen 15994 kilos, si se comparan con los 16000 descritos en la memoria de cálculo del *Axeno 1*, es posible verificar que el dato es fiable.

Cálculo del coeficiente sísmico.

Considerando los datos obtenidos en el *Cuadro 9*, donde se consigna un coeficiente sísmico para la estructura de 0,66, es fundamental mencionar que la importancia asignada a la estructura en función de la naturaleza de la obra ($I=1,25$) aporta una mayor amplificación de las cargas involucradas, de ahí que su incidencia represente un 66% del total de la masa sísmica que resulta acelerada durante movimiento telúrico considerado en el diseño.

A primera vista, un coeficiente sísmico de 0,66 se antoja alto, sin embargo, tal y como se determinó con anterioridad, el factor de importancia asociado a la obra, en función de su ocupación y trascendencia, imposibilita la consideración de un valor diferente al utilizado, que finalmente se traduzca en una estimación más favorable de la afectación de la masa sísmica considerada y por ende las fuerzas involucradas

sean menores. Por el contrario, el *CSCR2010* es claro en determinar el tipo de obras que son catalogadas como esenciales (correspondientes al Grupo A), por lo que la modificación del parámetro en cuestión no está sujeta a discusión.

Es fundamental destacar que la determinación de la importancia de la obra está íntimamente ligada a los objetivos de desempeño del proyecto, es decir, de cómo espera el diseñador que se comporte la estructura ante una eventual situación determinada, tal y como lo es un sismo. Una de las principales consideraciones que debe realizarse para definir el objetivo de desempeño de una obra es el nivel de demanda sísmica, ya que al tratarse de una estructura esencial, el desempeño de la obra trasciende el objetivo de asegurar y preservar vidas (usuarios y transeúntes que se puedan ver afectados en el momento) por los daños estructurales que pueda sufrir la obra y se sitúa en el nivel de desempeño sísmico operativo, el cual es más estricto ya que además de conservar vidas, busca que los daños estructurales sean mínimos, de tal forma que el tanque continúe siendo funcional a pesar de la afectación, o vuelva a serlo en un periodo muy breve.

Vale la pena recalcar que la totalidad de los proyectos que se construyen en el *Programa de acueductos rurales* se localizan en zonas alejadas, con caminos en mal estado y con acceso restringido a servicios como la salud y la comunicación, por ejemplo. En virtud de lo anterior, en caso de que un sismo que afecte una determinada localidad, existe la posibilidad de que la ayuda de primera mano no sea lo suficientemente expedita, por lo que la integridad estructural de un tanque de almacenamiento de agua potable debe preservarse de la mejor manera posible, para garantizar el acceso a un servicio de calidad en caso de una afectación severa.

En la memoria de cálculo original del proyecto, misma que se refirió en el capítulo de *Resultados* y se adjunta en el *Anexo 1*, no se hace mención del coeficiente sísmico calculado, sin embargo, se realizan las consideraciones para la combinación de tipo de suelo y zona sísmica que generan la mayor aceleración efectiva (0,44), lo que no es cierto en este proyecto, impidiendo así la posibilidad de realizar una comparación objetiva de los datos asumidos para cada diseño.

Modelo estructural.

Tal y como se observa en la *Figura 15*, las secciones propuestas para el desarrollo de los arriostres (inclinados y horizontales) y las columnas, cumplen con los requerimientos definidos en el *AISC* para el análisis de elementos de acero, ya que, según el diseño realizado, el cual se apoyó en los resultados de fuerzas resultantes generado por el *SAP2000*, ninguno de los elementos está cerca de alcanzar los valores de fluencia y más bien se encuentran por debajo de los valores nominales últimos de concentración de esfuerzos. El patrón de comparación de colores respalda el análisis descrito para los esfuerzos de los elementos, ya que ninguno de los miembros se encuentra identificado en color rojo, al mismo tiempo que en el *Cuadro 11*, se indica que los valores de interacción de los elementos críticos se encuentran por debajo de 1, lo que finalmente respalda la premisa sobre el resultado del análisis.

Como se mencionó en el capítulo de *Resultados*, la disponibilidad de elementos metálicos a nivel nacional para su uso en el proyecto, está limitada a una cierta cantidad de opciones, en función de su diámetro nominal. La primer propuesta de diseño se realizó utilizando tubos de 10 pulgadas de diámetro para las columnas y de 6 pulgadas para arriostres horizontales e inclinados. Dichos elementos incumplen con los parámetros de diseño necesarios para la obra, ya que la relación de esbeltez y la comparación de colores imposibilitan la utilización de los elementos de 10 y 6 pulgadas de diámetro.

Analizando lo anteriormente descrito y en función de la importancia de la obra, su caracterización estructural y la limitante en la existencia de elementos a nivel nacional, se debe plantear un nuevo diseño, ahora utilizando el nivel inmediatamente superior de elementos disponibles, es decir, tubos de 12 pulgadas de diámetro para las columnas y de 8 pulgadas para los arriostres.

Dicha configuración corresponde a la más económica disponible en el mercado y que asegura el cumplimiento de la totalidad de los parámetros descritos en el diseño de obras metálicas, a pesar de que los valores de interacción no superen el 85% del uso de la capacidad nominal de los elementos propuestos.

Dentro de un análisis estático, tal y como el que se desarrolla en el presente trabajo, rige el primer

modo de vibración de la estructura analizada. Aunado a esto, la caracterización de la estructura como voladizo, coincide con el mismo modo de vibración mencionado. Todo esto concuerda con la línea en que se realizan los diseños dentro del *AyA*, ya que a pesar de ser conservadores, se desea estar siempre dentro ese rango, en función de la importancia asociada a la ocupación de los tanques elevados de almacenamiento de agua potable.

Los periodos identificados para la estructura en cada uno de los ejes de análisis, es decir, *X* y *Y*, corresponden a los esperados para la estructura, ya que en el caso del eje *X*, cuyo periodo corresponde a 0,2956 segundos, es este el sentido más rígido (periodo más corto). Por su parte, el periodo más largo responde al sentido menos rigidizado, es decir, el eje *Y*, donde se obtuvo un valor de 0,4518 segundos

Revisión de la capacidad soportante de los elementos.

En los *Cuadros 11* y *12* se muestran los resúmenes del análisis realizado a la estructura de soporte del proyecto. Específicamente en el *Cuadro 11*, se observan los elementos críticos (de mayor esfuerzo) según dicho análisis y de acuerdo con las combinaciones de carga y las fuerzas actuantes contempladas. Los resultados de la revisión por flexocompresión oscilan entre 0,06 y 0,85, por lo que se puede afirmar que el diseño es conservador, sin embargo se apega a la realidad de la obra, según las cargas que ahí se contemplan, ya que todos los elementos se encuentran dentro de los valores de esfuerzos permisibles para su operación, es decir, la resistencia de estos es mayor que la combinación de todas las fuerzas que actúan sobre ellos.

Como se mencionó en el apartado anterior del presente capítulo, la disponibilidad de elementos metálicos en el mercado nacional influye directamente en el diseño a realizar, ya que a pesar de que el nivel de esfuerzo aplicado sobre los elementos no supera el 85% de su capacidad real, la configuración de elementos planteada es la más económica posible, si se considera la

importancia del proyecto ($I=1,25$) y las consideraciones adoptadas en el diseño en relación a los objetivos de desempeño de la obra, descritos en el apartado anterior del presente capítulo.

Fase 3: Diseño del proceso constructivo estándar de tanques elevados.

Logística de fabricación de la estructura.

En la gran mayoría de los casos analizados en el abordaje de la investigación, existe una concordancia entre la metodología empleada por las empresas para la fabricación de las obras que componen el proyecto, pues en general, en cada caso el desglose de las actividades obedece a un patrón que tiende a la homogenización de tareas, su respectivo alcance, el personal encargado de su materialización y el procedimiento para lograrlo.

Como es de esperar, existen algunas diferencias puntuales en los procesos adoptados, no obstante, la mecánica macro de estos obedece a una disposición similar de ejecución.

Se considera que dicho aspecto representa una ventaja para la Institución, pues facilita la inspección de la fabricación de la obra y la generación de informes y ejecución del control de calidad de los trabajos ejecutados, mediante el uso de un formulario estándar, tal y como se propone más adelante en el presente apartado.

La medición de la eficiencia y la eficacia de un proceso en específico, depende en buena medida de la homogenización de las metodologías de producción involucradas². La afirmación anterior respalda el resultado de la investigación, a la vez que establece un principio primordial para el análisis de obras, pues en la medida en que exista un ordenamiento de tareas establecido, el punto de comparación entre los oferentes será fiable y veraz, ya que se parte de un mismo principio y las

² Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Guía técnica para normar y elaborar manuales y procedimientos institucionales.

condiciones sujeto de la inspección son semejantes en cada caso.

Es importante mencionar que el constante intercambio de colaboradores de mandos altos, medios y bajos –ingenieros, maestros de obras de taller y operarios respectivamente– entre las empresas constructoras, se presenta como uno de los factores responsables de la fuga de información de un lugar a otro referente a los procesos de fabricación, colaborando así con una tendencia de uniformización de actividades y tareas a realizar.

En virtud de lo anterior, la influencia de una tendencia igualitaria preestablecida en la elaboración de la estructura metálica, facilita su abordaje, análisis e integración a un proceso de mapeo de datos, ya que existe una base similar de ejecución de actividades.

Mano de obra involucrada.

En referencia a la mano de obra utilizada por cada empresa, esta corresponde a una planilla definida por cada frente de trabajo, la cual es la encargada de las obras ahí detalladas y cada una de estas está bajo el mando de un solo coordinador, llamado maestro de obras (o encargado) de taller.

Cada una de las compañías asigna colaboradores a los grupos de trabajo según sus capacidades y filosofías de trabajo, sin embargo, la definición de un plazo contractual por parte del AyA obliga a plantear estratégicamente la ejecución de obra, para evitar así generar problemas de generación de multas y ejecución de garantías en caso de algún atraso.

La manera en que cada empresa asigna personal para atacar la elaboración del proyecto es muy propia, pues inclusive en cada caso delegan una misma tarea a diferentes tipos de empleado, por lo que categorizar tajantemente la responsabilidad de ejecución en un procedimiento estándar, puede resultar contraproducente para una estructuración de alguna constructora en específico, quien ya definió su proceso particular.

La teoría del mapeo de procesos es clara en determinar que la asignación de personal depende de muchos factores y su estado en el momento del análisis, tal como disponibilidad, capacitación e inclusive motivación del recurso, por lo que su configuración dista mucho de ser encasillada a una lista definitiva. Inclusive la responsabilidad de *quién lo hace*, puede recaer sobre un grupo de

trabajo conformado, no necesariamente sobre un individuo.

En virtud de lo anterior, se considera prudente proponer una lista mínima de personal total a considerar para la obra y por cuadrilla, de manera que sirva como una guía para la cuantificación de costos de mano de obra, planificación del trabajo y asignación de tareas referentes al proyecto y sus componentes.

No obstante, según se acotó en párrafos anteriores, la necesidad de evitar la ejecución de sanciones contractuales y terminar el proyecto en tiempo y forma, obligan a cada uno de los contratistas a adecuar sus estrategias en búsqueda de un ordenamiento laboral que se adapte a la mejora continua, según los objetivos planteados. Es aquí donde la herramienta desarrollada en el presente trabajo se presenta como una herramienta de tendencia a la homogenización de aplicación de mano de obra en los procesos contemplados en el análisis.

Equipo y herramientas.

El rubro correspondiente al equipamiento para la fabricación, es el que genera una de las dispersiones más significativas en el análisis, ya que algunas empresas no cuentan con equipos especiales para realizar tareas específicas, tales como conformación de metal, corte mecanizado, preparación de superficie, entre otros.

La disposición de un instrumento en particular para una actividad, sin necesidad de recurrir a un subcontrato para cubrir ese faltante, puede significar una diferencia importante en la generación de costos de transporte y pago de alquiler de servicios.

Sin embargo, la condición de no contar con alguna herramienta específica no ha significado una desventaja considerable para las compañías que la padecen, pues a través del tiempo han demostrado competir en igualdad de condiciones y realizar el trabajo en tiempo y forma.

Ante este panorama, se considera pertinente hacer la programación respectiva que contemple costos y acciones para el traslado de materiales, compra de servicios, al mismo tiempo que la Institución debe considerar dichos aspectos para realizar las labores de inspección respectivas.

Restricciones de espacio en taller.

En virtud de las condiciones presentes en cada caso, referentes al espacio para manipular materiales, producir estructura, maniobrar subcomponentes de tamaño considerable y preparar el transporte de estos, no se observa que este aspecto pueda influir de manera importante en los procesos de elaboración de las obras, ya que inclusive existe el espacio físico necesario para que los diferentes frentes de trabajo se desarrollen en forma paralela.

Considerando lo expuesto con anterioridad, es recomendable realizar la coordinación respectiva a la hora de fabricar los componentes, en caso de que converja la fabricación de otras estructuras ajenas al proyecto con este y esa condición genere una limitante de espacio para el proceso de elaboración en taller de fabricación.

Restricciones de transporte.

Independientemente de si la empresa cuenta o no con vehículos de carga propios para el transporte al sitio del proyecto de las obras de metalmecánica producidas en taller, las definiciones de la normativa vigente delimitan la carga y transporte de componentes de las obras.

Las restricciones de peso y longitud establecidas en el *Reglamento de circulación por carretera con base en el peso y las dimensiones de los vehículos de carga*, definen hasta qué punto se ha de armar una estructura significativa como el reservorio, pensando en el transporte del mismo, sin embargo, cabe destacar que los elementos del tanque difícilmente superan las restricciones por peso del *Reglamento*, sino más bien que su tamaño es quien lo hará, ya que por ejemplo el tanque y las columnas armadas registran pesos de 16000 y 6585 kilogramos respectivamente, pero sus longitudes responden a 4,66 metros de diámetro y 16,1 metros de largo en el mismo orden, por lo que la longitud total es la que debe regir en la planificación del transporte.

Tanto las constructoras que acuden a empresas de transportes para el acarreo de la estructura, como las que generan por sí solas el servicio, respetan la normativa vigente en cuanto al peso máximo transportado, ya que el alto volumen de la carga ocupa el área de la plataforma

de transporte disponible, obligando a realizar una planificación estratégica de envíos con base en la secuencia de producción y sus dimensiones, y así generar la menor cantidad de gastos por ese concepto.

Por lo tanto, se considera necesario seguir respetando esa línea de trabajo y las disposiciones de la normativa que rige el tema.

Seguridad y salud ocupacional.

El tema de la seguridad ocupacional es un tópico que se reviste de una particular importancia en los trabajos realizados en el proyecto, por cuanto es una efectiva herramienta para salvaguardar el bien máspreciado relacionado con el recurso humano, la vida.

Pese a la trascendencia del tema, no en todos los casos analizados se le da la importancia requerida dentro del ambiente laboral, ya que las empresas Fernández & Constructora e Intec Internacional, operan con los requerimientos mínimos de seguridad y no tienen una cultura de seguridad debidamente instalada en sus colaboradores. Las restantes constructoras cuentan con procedimientos, requerimientos mínimos y directrices de acatamiento obligatorio, las cuales crean un estilo de vida laboral donde la seguridad ocupa un papel vital en las labores asignadas.

Es importante que la seguridad laboral y todos sus alcances sean un tema de abordaje estándar en todas las empresas que laboran en el sector construcción, ya que los riegos que ello implica, son más elevados en virtud del nivel de exposición que experimentan los colaboradores al manipular equipo eléctrico, equipo mecánico, herramientas manuales, entre otras, inclusive en alturas considerables, por lo que se considera importante que sea un tema de profundización en cada empresa.

En el *Apartado 5.1 del Apéndice 6* se muestran los requerimientos mínimos para el equipo personal completo, el manejo de cargas y de trabajos en altura según la normativa vigente, mismos que deben ser de acatamiento obligatorio en las tareas diarias dentro del centro de trabajo.

Se considera conveniente que de forma adicional al manejo de los temas que se tratan en el procedimiento constructivo, se le dé el lugar correspondiente al manejo de sustancias

peligrosas (manipulación de pinturas, disolventes, material inflamable, etc), así como al empleo y aplicación de trabajos energizados mediante corriente eléctrica, los cuales son de uso diario y están catalogados como prioritarios dentro de los conceptos básicos de seguridad laboral

Diseño del proceso constructivo.

El Proceso constructivo estándar de tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua potable realizado con base en la investigación y agrupamiento de todos los aspectos analizados con anterioridad, representa una herramienta útil para la comprensión, análisis, inspección y documentación de los métodos de fabricación de las estructuras mencionadas.

Su uso delimita una serie de procesos ordenados en cuadros, abocados a la construcción de la obra, incorporando directrices para determinar qué hacer, cómo hacerlo, quién lo realizará y cómo se debe de inspeccionar, tal y como lo establece el procedimiento de *mapeo de procesos* referido en el marco teórico del proyecto. Además, al aportar datos relacionados con el recurso humano, equipo a utilizar, seguridad y salud ocupacional y alcance completo de las actividades y tareas, genera un panorama más amplio del proyecto, permitiendo una toma de decisiones acertada en cuanto a los puntos que se deben abarcar en la ejecución y control de calidad de los trabajos.

Vale la pena mencionar que la metodología propuesta se diseñó basada en la definición de actividades y tareas que se consideró más conveniente para su ejecución, sin embargo, en el caso de que estas deban adaptarse a condiciones de sitio específicas y diferentes a las ya mencionadas, se considera fundamental contar con la presencia de un ingeniero encargado de taller de fabricación, capaz de realizar los cambios pertinentes y adecuar el procedimiento a las necesidades específicas.

Por su parte, en el caso de las obras estudiadas, la ejecución del control de calidad representa una de las etapas más importantes en su construcción. Las directrices para la supervisión y aprobación de los trabajos de soldadura y pintura incluidas en el procedimiento, se consideran una herramienta útil para el inspector a cargo de la auditoría, pues con su conocimiento previo, puede identificar y comparar una serie de

discontinuidades posibles de obtener en los temas antes descritos. Además, el documento contiene una *Ficha de supervisión de trabajos de metalmecánica*, para cada etapa del procedimiento de fabricación y representan una vía simple, rápida y sencilla de documentar el avance del control de calidad ejercido, con la intención de verificar que los trabajos rechazados hayan sido debidamente corregidos.

Finalmente, la programación de proyecto realizada contemplando la construcción de los dos tanques metálicos a partir de las actividades y tareas planteadas en el *Proceso constructivo estándar de tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua potable*, dio como resultado un tiempo aproximado de 155 días, el cual es menor al plazo contractual de la obra de 180 días naturales, es decir, el proceso definido cumple con el requerimiento de plazo de ejecución, ya que proyecta la construcción de la obra en un tiempo menor al del requisito.

Conclusiones

- Se logró determinar la existencia de una serie de aspectos asociados al proceso de construcción de los elementos definidos en el planteamiento original de la estructura de soporte del proyecto, los cuales son: deformación de los elementos, problemas constructivos, corrosión, dificultad para el mantenimiento, belleza estética y retrasos en el periodo de ejecución, que afectan directamente la vida útil esperada de la obra, al mismo tiempo que influyen en el costo, la calidad e inclusive en la estabilidad estructural de los miembros de la estructura, pues están expuestos a una acelerada erosión por el efecto la corrosión.

- Se determinó que, en aras de evitar la enorme cantidad de problemas constructivos asociados a la elaboración de la torre soportante tal y como se detalla en los planos constructivos, es factible realizar el cambio de la estructura de soporte original por la configuración propuesta en el trabajo, en virtud de que esta aporta una facilidad de elaboración mucho mayor, es más limpia y estilizada.

- Se logró determinar una configuración de las columnas y arriostres de la estructura de soporte acorde al proyecto analizado y con las limitaciones de existencia del mercado nacional.

- Se logró modelar y analizar desde el punto de vista estructural la propuesta planteada, para concluir con que los elementos propuestos cumplen con la totalidad de los requerimientos definidos en el *AISC* para el diseño de elementos de acero, por lo que pueden ser utilizadas en la obra.

- Se logró verificar que la estructura de soporte propuesta es 15600 kilogramos más liviana que la definida en planos, lo que representa un ahorro sustancial de aproximadamente \$89.154.000 en el costo del proyecto, si se implementa la permuta de la armadura soportante planteada. Dicho monto corresponde a un 21,28% del costo total de la obra.

- Se logró verificar que las solicitaciones máximas identificadas para carga axial, cortante y momento flector, no superan las capacidades

nominales de los elementos propuestos, por lo que cumplen desde el punto de vista de diseño.

- Se logró constatar que los esfuerzos a los que están expuestos los elementos de la estructura de soporte del tanque, no superan los esfuerzos nominales últimos y su valor de interacción indica que su diseño es el adecuado para las obras.

- Se logró identificar en las empresas sujeto de análisis, que el procedimiento utilizado para construir los tanques metálicos tiende a una marcada homogenización de metodologías de producción, generada por el constante flujo de intercambio de colaboradores de mandos medios y altos entre ellas, lo que propicia el intercambio de información y la posterior uniformidad de los métodos.

- Se logró determinar que el manejo del recurso humano en cada empresa varía de manera significativa, de acuerdo con sus capacidades, por lo tanto, el planteamiento de la mano de obra del procedimiento se realiza como una sugerencia en función a la cantidad de colaboradores y su planeación estratégica necesarias para ejecutar las obras en tiempo y forma.

- El conocimiento previo de los procedimientos de construcción, aunado a las entrevistas y observaciones de campo realizadas para el mapeo de datos, permitieron generar un panorama mucho más amplio e integral del proceso constructivo de los tanques metálicos elevados.

- Se logró percibir que la diferencia entre contar con equipo específico para algunas tareas puntuales y específicas, tales como corte y rolado de metal, preparación de superficie, aplicación de pintura entre otros, significa un ahorro significativo en los rubros de transporte, alquiler de servicios e inclusive mano de obra.

- *El Proceso constructivo estándar de tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua potable*, es una herramienta útil para la comprensión, análisis, inspección y

documentación de los métodos de fabricación de los tanques metálicos elevados.

- Se logró constatar que en algunas empresas lamentablemente no se cuenta con una cultura de salud ocupacional robusta y articulada, que permita salvaguardar de mejor manera la integridad de los colaboradores.

- Se logró comprobar que aplicando el *Proceso constructivo estándar de tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua potable* de manera sucesiva para la construcción de las dos estructuras contempladas en el proyecto, la programación de las obras arroja un tiempo de ejecución menor al periodo contractual del proyecto, por lo que se concluye que su aplicación es viable.

- Se logró identificar que la implementación del proceso de preparación de superficie y colocado de la primera capa de pintura base en los elementos metálicos del proyecto, de manera previa al inicio de cualquier proceso productivo es una excelente práctica constructiva, ya que disminuye el nivel de dificultad y las horas hombre requeridas para la aplicación de las capas sucesivas de pintura base, en virtud de que es más sencillo realizar la recuperación de las zonas afectadas por el calor de aplicación la soldadura en elementos ya conformados (para su posterior repinte), que realizar el proceso de colocación de pintura desde un inicio, en dichos componentes de la estructura. Es decir, es más fácil preparar y pintar elementos individuales y así generar a partir de estos, estructuras más grandes, que llevar a cabo desde un inicio el proceso de colocación de pintura en estas últimas ya armadas.

- Se logró identificar que realizar el transporte de la estructura con la aplicación únicamente de pintura base es una excelente práctica constructiva, ya que el desgaste propio del proceso de carga, transporte y descarga de los elementos se manifestará únicamente en el primer tipo de pintura. Lo anterior finalmente se traduce en una mayor facilidad de recuperación de la pintura base (en virtud de un espesor de película menor) y en una aplicación de pintura de acabado sobre una superficie considerablemente homogénea.

Recomendaciones

- Con base en el alcance definido en el presente trabajo, se recomienda continuar su línea de investigación y plantear el diseño de las uniones estructurales pernadas y soldadas de los elementos de la estructura de soporte.

- Además, con base en la modificación en el peso de la estructura de soporte, se recomienda continuar su línea de trabajo y realizar la revisión de la capacidad de soporte de la estructura de cimentación y materializar cualquier cambio necesario para su correcto funcionamiento.

- Se recomienda replicar el proceso realizado en el presente trabajo para el análisis estructural de la obra y extrapolarlo para todas las posibles combinaciones de tipos de suelo y zonas sísmicas, con la intención de comparar los resultados obtenidos por la afectación de los diferentes coeficientes sísmicos y generar un criterio de comparación, en relación con los elementos estructurales a seleccionar para cada caso. Lo anterior con la finalidad de homogenizar una estructura de soporte para cualquier parte del territorio nacional que sea viable desde el punto de vista constructivo.

- Se recomienda realizar la coordinación previa con la empresa constructora encargada de la construcción de la obra, en virtud de la posibilidad de que la fabricación de la estructura converja con la elaboración de otra de tamaño similar que no pertenezca al *Instituto* y se restrinja así el espacio disponible en el taller de fabricación.

- Se recomienda incluir dentro de las pruebas rutinarias de inspección de soldadura de AyA los ensayos de ultrasonido y radiografía, según se indica en la *Sección VIII* del *ASME* y en el capítulo *M11* del *AWWA*.

- Se recomienda continuar la línea de investigación del presente trabajo y explorar la modelación de la estructura con diferentes alternativas de secciones transversales para los miembros usados en columnas y arriostres (perfiles I, vigas cuadradas laminadas en caliente, entre otros), de manera que se pueda bajar la

brecha entre la carga última y la carga nominal de cada elemento y generar así una estructura más económica, sin comprometer su estabilidad estructural.

- Se recomienda continuar la línea de investigación del presente trabajo y plantear su análisis contemplando dentro de la modulación estructural el uso de articulaciones en vez de empotramientos en la unión de la estructura de soporte y los cimientos. Lo anterior con la finalidad de generar un nuevo lote de resultados asociados a este, que permitan realizar la comparación de conclusiones y evaluar así la posibilidad de disminuir la diferencia entre las capacidades última y nominal, optimizando aún más el diseño estructural realizado en el trabajo

Apéndices

Apéndice 1

Herramienta para la recolección de información en Proveeduría Institucional.

Apéndice 2

Herramientas para la recolección de información en campo.

Apéndice 3

Memoria de cálculo de los arriostres horizontales.

Apéndice 4

Memoria de cálculo de los arriostres inclinados

Apéndice 5

Memoria de cálculo de las columnas.

Apéndice 6

El Proceso constructivo estándar de tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua potable

Apéndice 7

Cálculo de pesos de la Estructura.

1. Herramienta para la recolección de información en Proveduría Institucional

HERRAMIENTA PARA RECABACIÓN DE INFORMACIÓN EN PROVEEDURÍA INSTITUCIONAL			
PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN			
Investigador	<u>SEBASTIAN JIMENEZ DELGADO</u>	Persona Entrevistada	<u>MARIA JOSE AGUIRRE VALDELOMAR</u>
Fecha	<u>01 DE AGOSTO DEL 2016</u>	Empresa	<u>AVA</u>
Lugar	<u>SEDE CENTRAL</u>	Cargo	<u>ENCARGADA DEL ARCHIVO INSTITUCIONAL</u>

ENTREVISTA			
Nombre del Proyecto	Año	Adjudicatario	Cumple como obra similar
TANQUE TRENFOCAL, SAN BERNARDINO	2008	BENDIG	SI
TANQUE EL SILENCIO, AÉVICOS	2008	FERNANDEZ VASCO	SI
TANQUE SAN LUIS, MONTPELDE	2008	FERNANDEZ VASCO	SI
TANQUE MABUENCO	2008	INTEC	SI
TANQUE LA RITA, POCOCI	2009	MONTPELO CONSTRUCTORA	SI
TANQUE PASO LAJAS, CANAS	2009	CODOCSA	SI
TANQUE AECORIAL DE LOS CHILES	2010	BENDIG	SI
TANQUE ARTULO, POCOCI	2010	INTEC	SI
TANQUE LOS LIBROS, LIMÓN	2010	CODOCSA	SI
TANQUE PASO AGUÉS, TUCUENARRES	2011	FERNANDEZ VASCO	SI
TANQUE EL GALLITO, LOS CHILES	2012	BENDIG	SI
TANQUE SAN CULTORAL DE LA RITA, POCOCI	2012	MONTPELO CONSTRUCTORA	SI
TANQUES BOLIVIA Y SAN SEBASTIÁN, PÉREZ ZELEDÓN	2012	BENDIG	SI
TANQUE CAÑO CASTILLA, LOS CHILES	2012	BENDIG	SI
TANQUE SIFERICA, SARAPIQUÍ	2012	CODOCSA	SI
TANQUE CERRO PLANO, MONTPELDE	2013	CODOCSA	SI
TANQUE EL CAIRO, SAGUIRES	2014	FERNANDEZ VASCO	SI
TANQUE BOLIVIA, PÉREZ ZELEDÓN	2014	CODOCSA	SI
TANQUE LIMÓN SUR, INTEC	2014	INTEC	SI
TANQUE LA CASONA, COTO BRÚS	2014	INTEC	SI
TANQUE PLAYA NEGRA, CÓBANO	2014	CODOCSA	SI
TANQUE LOS CHILES CENTRO	2014	CODOCSA	SI
TANQUE MILANO, SAGUIRES	2014	INTEC	SI
TANQUE LA CASONA, COTO BRÚS	2015	FERNANDEZ VASCO	SI
TANQUE LA PALMEIRA, SAN CARLOS	2015	BENDIG	SI
TANQUE DE JIMÉNEZ, GUÁCIAMO	2015	INTEC	SI
TANQUES SANTA EULALIA Y ALTO LÓPEZ, ATENAS	2015	FERNANDEZ VASCO	SI
TANQUES MIGUITO Y LOS ENTOS, SAN JOSE	2016	FERNANDEZ VASCO	SI
TANQUE LA MARAVILLA (MEMORIA DE CHICULO)	2010	BENDIG	SI
TANQUE MAL PAÍS, CÓBANO	2011	FERNANDEZ VASCO	SI
TANQUE SAN LUIS, PÉREZ ZELEDÓN	2016	BENDIG	SI

OBSERVACIONES		
34 OBRAS EN 10 AÑOS		
BENDIG	5 TANQUES	26,5%
FERNANDEZ VASCO	8 TANQUES	23,5%
INTEC	7 TANQUES	20,6%
CODOCSA	8 TANQUES	23,5%
SE EXCLUYE A CONSTRUCTORA MONTPELO DEL ESTUDIO YA QUE TIENE SOLO UN 5,9% DE LAS OBRAS Y YA NO EXISTE.		

2. Herramientas para la recolección de información en campo

001

HERRAMIENTA PARA RECABACIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO

PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Investigador	<u>SEBASTIAN JIMENEZ DELGADO</u>	Persona Entrevistada	<u>ERNESTO FERNÁNDEZ VASQUEZ</u>
Fecha	<u>06-AGO-2019</u>	Empresa	<u>FERNÁNDEZ S VASQUEZ CONSTRUCTORA</u>
Lugar	<u>PURRAL DE GUADALUPE, SAN JOSÉ</u>	Cargo	<u>INGENIERO ENCARGADO DE TALLER</u>

TALLER DE METALMECÁNICA

ENTREVISTA

1. ¿Cuánto tiempo registra la empresa como proveedor de AyA?
APROXIMADAMENTE 25 AÑOS.
2. ¿La empresa está familiarizada con proyectos de fabricación de tanque metálico elevado?
COMPLETAMENTE EN LA TOTALIDAD DEL PROYECTO.
3. ¿La empresa ha construido tanque metálico elevado para otras instancias que no sea AyA?
SI. PARA LCCER, APASA, INDUSTRIAS INFINITO, ENTRE OTRAS.
4. ¿La empresa ha sufrido el cobro de multas o ejecución de garantías en proyectos similares?
NO REQUIERA EJECUCIÓN DE MULTAS EN PROYECTOS SIMILARES.
5. ¿La empresa cuenta con los profesionales idóneos en cuanto a experiencia en obras similares para construir proyectos?
SI, CERCA DE 3 ING CON LA EXPERIENCIA REQUERIDA EN CAJETEL.
6. ¿La empresa utiliza con regularidad subcontratos para ejecutar procedimientos? ¿Cuáles?
SI. ROLADO DE LÁMINAS (TENDRIMUCA) Y SAND-BLASTING (VALOR OPRENTES) Y EN ALGUNOS CASOS PINTURA, NO SIEMPRE.
7. ¿Cuál es la logística de fabricación de la empresa para tanques metálicos elevados?
EXISTE UN ENCARGADO DE TALLER DE FABRICACIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA, QUE COORDINA TRABAJOS EN TALLER Y EN SITIO DE OBRAS, PARTE EL TRABAJO DE FABRICACIÓN EN 3 FRENTES EN TALLER Y CUANDO SE REQUIERE EN SITIO. LOS FRENTES DE TRABAJO SON: TORRE, TARRO Y ACCESORIOS.

TORRE	TANQUE METÁLICO	ESTRUCTURAS VARIAS	SITO DE PROYECTO
1. CORTE TUBOS COLUMNAS	17. CONSTRUCCIÓN TAPAS PLANAS	27. CONSTRUCCIÓN PASARELA EXTERNA	36. COLOCAR Y ALIARAR BERNOS
2. " " ARBUSTOS INCL.	18. ARMADO ANILLO EXTERNOS	28. CONSTRUCCIÓN BARRANDAS	37. " " PLACAS
3. " " " " HOLE.	15. " " INTERMEDIOS	29. CONSTRUCCIÓN ESCALERA ACCESO	38. VERIFICAR NIVELES PLACAS
4. CORTE Y PUNCHADO PLACAS	16. CONSTRUCCIÓN PASARELA INTERNA	30. CONSTRUCCIÓN ACCESO Y RESPALDOS	39. MONTAR ESTRUCTURA COMPLETA
5. APUNTALAR Y RESOLDAR COLUM.	17. RESOLDAR ANILLO EXTERNOS	31. " " TUBERÍA ACCESO, GRUA, REBOSEO, RETOCAR PINTURA.	
6. " " " " ARBUSTOS	18. " " " " INTERMEDIOS	32. PREPARACIÓN DE SUPERFICIE	
7. CORTE Y ROLADO MÉRULAS APORO	19. ARMADO EXTREMOS RESERVADO	33. APLICACIÓN DE PINTURA BASE	
8. SOLDADO DE MÉRULAS	20. COLOCAR ESTRUCTURA INTERNA	34. CARGA	
9. PREPARACIÓN DE SUPERFICIE	21. ARMADO DEL TARRO	35. TRANSPORTE	
10. APLICACIÓN PINTURA BASE	22. RESOLDAR DATN TOR. MÉRULA		
11. CARGA	23. PREPARACIÓN DE SUPERFICIE		
12. TRANSPORTE	24. APLICACIÓN PINTURA BASE		
	25. CARGA		
	26. TRANSPORTE		

1

8. ¿Cuál es la mano de obra involucrada en esa logística? HAY 4 FRENTES DE TRABAJO → 4 CUADRILLAS → COORDINADAS POR UN SOLO ENCARGADO DE TALLER. EMPRESA MANTIENE UN REGISTRO HISTÓRICO DE LOS ÚLTIMOS 3 TANQUES REALIZADOS (NO NECESARIAMENTE PARA AQUÍ), ES DECIR, DE LOS ÚLTIMOS AÑOS. EL PERSONAL ES:

<u>TORRE</u> ⇒	AYUDANTE 5 ARMADOR 5 SOLDADOR 3	}	<u>TOTAL</u>
<u>RESERVOIRIO</u> ⇒	AYUDANTE 4 ARMADOR 4 SOLDADOR 3		1 ENCARGADO DE TALLER
<u>ESTRUCTURAS VARIAS</u> ⇒	AYUDANTE 3 ARMADOR 2 SOLDADOR 2		8 SOLDADORES
<u>TRABAJOS EN SITIO</u> ⇒	CON LA MISMA GENTE DE TALLER		3 ARMADORES
			12 AYUDANTES
			1 PINTOR (MEN ALGUNOS AÑOS)

SE OBTUVO UNA FOTOGRAFÍA DE LA COMPLECIÓN DE CUADRILLAS.

9. ¿Cuáles son los equipos y herramientas utilizados en la construcción de las obras?

SI SE AGRUPAN LAS ACTIVIDADES DE LA PRESENTA #7

CORTE METAL	3	CINCOJETES
SOLDADAJES	}	4 SOLDADAJES
		1 HORNO ESTACIONARIO
		3 PORTÁTILES
PUNCHADO	1	TALADRO ELECTRO MAGNÉTICO
PINTURA	1	AIRLESS
ROLADO LÁMINAS		CONTRATO
GRUA		CONTRATO
SUFICIENTES		ANDAMIOS, TALADROS, EJCUADROS, NIVEL, SARGENTOS, MAZO, PLOMOS, MANGUERAS DE NIVEL, CINTAS MÉTRICAS, CINCELES, ALICATES, BROCHAS Y CEPILLOS.

↗ HERRAMIENTA MENOR

10. ¿Existen restricciones de espacio para la fabricación, manipulación, carga y descarga de las obras del proyecto?

NINGUNA / PUNTEL AMPLIO PARA MANIPULAR CARGA, ENTRADA Y SALIDA DE T3-S2

SE. EN MUE INDUSTRIAL PARA SOLDAR DE 2500 M² EXISTENTE

SE. EN TERRENO PARA MANEJO DE CARGAS Y ELEVAR ESTRUCTURA (3000 M²)

SE. EN TERRENO PARA MANIOBRAR.

11. ¿Cómo se maneja la programación y el transporte de carga?

SUBCONTRATO PARA TRANSPORTE CON LA EMPRESA MINCHO.

MINCHO → EFECTA LEY VIGENTE DE CALLES, EMPRESA RESPONSABLE

SE ADEGA AL REGLAMENTO → BUSCA REGLAMENTO.

⇒ REGLAMENTO DE CIRCULACIÓN POR CARRETERA CON BASE EN EL PESO Y LAS DIMENSIONES DE LOS VEHÍCULOS DE CARGA

12. Consideraciones de Seguridad y Salud Ocupacional

EN VISITA SE OBSERVA:

- POCO CONTROL DE SEGURIDAD
- NO HAY CULTURA ESTABLECIDA
- NO HAY ING. A CARGO DEL TEMA
- EQUIPO: - CALCO
- CHALECO
- LENTES
- NO TODOS PORTAN EQUIPO
- NO EXISTEN REPLENOS POR NO USAR SEGURIDAD
- CUIDAN EL MANTENIMIENTO DE
 - CARGAS
 - TRABAJEN ACTIVA } CONDICIONES MÍNIMAS

HERRAMIENTA PARA RECABACIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO			
PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN			
Investigador	<u>SEBASTIAN JIMENEZ DELSAO</u>	Persona Entrevistada	<u>JUAN JOSÉ PÉREZ QUIROZ</u>
Fecha	<u>08-AGOSTO-2018</u>	Empresa	<u>COOCCSA</u>
Lugar	<u>SAN DOMINGO DE HEREDIA</u>	Cargo	<u>ING. ENCARGADO DE FABRICACIÓN DE</u>

PLANTA Y OPTIMAL DE EMPRESA

PROYECTO

ENTREVISTA

1. ¿Cuánto tiempo registra la empresa como proveedor de AyA?
CERCA DE 20 AÑOS.
2. ¿La empresa está familiarizada con proyectos de fabricación de tanque metálico elevado?
DE MANERA ABSOLUTA.
3. ¿La empresa ha construido tanque metálico elevado para otras instancias que no sea AyA?
SI. CORPORACIÓN METALURGICA, ETCOP, INOLASA Y AGEDQUIM.
4. ¿La empresa ha sufrido el cobro de multas o ejecución de garantías en proyectos similares?
NO EN LO ABSOLUTO.
5. ¿La empresa cuenta con los profesionales idóneos en cuanto a experiencia en obras similares para construir proyectos?
SI. EN ESTE MOMENTO HAY 3 PROFESIONALES QUE CUMPLEN POR EXPERIENCIA.
6. ¿La empresa utiliza con regularidad subcontratos para ejecutar procedimientos? ¿Cuáles?
REGULARMENTE NO, SOLO QUE EL VOLUMEN DE TRABAJO LO EXIGA (PINTURA), PERO MUY POCAS VECES.
7. ¿Cuál es la logística de fabricación de la empresa para tanques metálicos elevados?
HAY UN ENCARGADO DE TALLER QUE EN BASE A LOS PLANOS DE TALLER SOLICITA LA CANTIDAD DE OPERARIOS. DIVIDE AL PROYECTO EN 3: PATAS, TANQUE, ESTRUCTURA MISCELÁNEAS. LA MISMA GENTE QUE TAMBIEN HACE TRABAJOS EN SITIO.

PATAS

CORTE TUBOS COLUMNALES
" " ARBOLIZES
" PUNCHADO PLACAS
ARREGLANDO Y DECIDIENDO COLON.
" " ARBOLIZES.
PREPARACIÓN DE SUPERFICIE
CORTE Y EDADO MANUAL
PINTURA BASE
" ACABADO
CARGA
TRANSPORTE

TANQUE

CONSTRUCCIÓN TAPAS PLANAS ANILLOS
ARMADO ANILLOS EXTREMOS
" " INTERMEDIOS
CONSTRUCCIÓN PASARELA EXT
RESOLDO ANILLO EXTREMOS
" " INTERMEDIOS
PREPARACIÓN DE SUPERFICIES
PINTURA BASE
ARMADO EXTREMOS TANQUE
COLOCAR PASARELA INT
ARMAR RESERVENO
SOLDAR "
SOLDAR DE PATINES A TANQUE
CARGA
TRANSPORTE

MISCELÁNEAS

CONSTRUCCIÓN PASARELA EXT
" PASARELAS
" ESQUEMA ACERO
" REPIELADREO
" ACEROS
" TUBERIAS
PREPARACIÓN DE SUPERFICIE
APLICACION DE PINTURA BASE
CARGA
TRANSPORTE

EN SITIO

ALINEAR PERROS
ALINEAR PLACAS
VERIFICAR NIVELES POLITRIMERA
MONTAJE DE ESTRUCTURA
REPINTE

8. ¿Cuál es la mano de obra involucrada en esa logística? HAY UNA CUADRIJA POR FRENTE DE TRABAJO A CARGO DE M.O.

	<u>CUADRIJA 1</u>			
PATAS ⇒	SOLDADOR 3	}	<u>TOTAL</u>	
	ARMADOR 4			
	AYUDANTE 5			
	PINTOR 1			
	<u>CUADRIJA 2</u>			8 SOLDADORES
TANQUE ⇒	SOLDADOR 3			13 AYUDANTES
	ARMADOR 4			10 ARMADORES
	AYUDANTE 5			1 PINTORES
	PINTOR 1			
	<u>CUADRIJA 3</u>			
MISCELÁNEAS ⇒	SOLDADOR 2			
	ARMADOR 2			
	AYUDANTE 3			
	PINTOR 1			
EN SITIO ⇒	MISMO DE TALLER.			

SE OBTUVO UN DETAALLE DE LA CONFIGURACIÓN Y ASIGNACIÓN DE CUADRIJAS.

9. ¿Cuáles son los equipos y herramientas utilizados en la construcción de las obras?

CORTE	{	1 COSTADERA MECANIZADA DE PLATA (DE BANCO) COLTA HASTA 4"
		1 GUILLOTINA DE CORTE HASTA 2"
SOLDADO	{	10 HORNOS ESTACIONARIOS
		1 Horno ESTACIONARIO
		10 PORTATIVOS
PUNCHADO		2 TALADROS ELECTROMAGNÉTICOS
PREPARACION SUP.		1 EQUIPO SAND BLAST COMPLETO
PINTURA		2 " AEROSOL
ROLADO		1 ROLADERA CON CAP DE PIREZ HASTA 2"
ARMADO	{	1 SGA 30
		1 " 15
		1 " 60

SUFICIENTE HERRAMIENTA MENOR.

→ HERRAMIENTA EN EXCELENTE ESTADO / POSEEN EL MEJOR EQUIPO.

10. ¿Existen restricciones de espacio para la fabricación, manipulación, carga y descarga de las obras del proyecto?

S.E. PARA MANTENIMIENTO Y ADJUNTA ESTRUCTURA / AMPLIO ESPACIO / SIN PROBLEMA PARA MANIPULAR T3-SZ

TERRENO DE 4 HECTÁREAS!

NAVE AMPLIA TECHADA PARA SOLDADURA → 1200 m²

" " " " PINTURA → 950 m²

¡EXCELENTE INSULACION!

11. ¿Cómo se maneja la programación y el transporte de carga?

3 T3-SZ PROPIEDAD DE LA EMPRESA

SE RESPETA REGLAMENTO PARA CARGA

→ BUSCAR REGLAMENTO

SE DIVIDE LA CARGA POR PESO, SIN EMBARGO EL VOLUMEN ES EL QUE MANDA, YA QUE OCUPA TODA LA PLATAFORMA DEL T3-SZ.

PARA UN TANQUE COMO ESTE, HISTÓRICAMENTE HACEN 4 VIAJES T3-SZ Y UN VIAJE EN CAMIÓN PEQUEÑO (NO ARTICULADO) → 5 VIAJES EN TOTAL

AQUÍ SEBASTIÁN 10 POR SER DOS TANQUES

12. Consideraciones de Seguridad y Salud Ocupacional

- EXCELENTE CULTURA DE SEGURIDAD.
- EXISTE UN REGLAMENTO INTERNO
- EQUIPO MÍNIMO
 - CASCO
 - CHALECO
 - LENTES
 - ZAPATOS
- EXISTE UN LÍNEA ENCARGADO DEL TEMA
- CASTIGOS POR REINCIDENCIA EN FALTAS DE SEGURIDAD (AMONESTACION → DEJARLO)
- EL EQUIPO SE USA SIEMPRE EN TODO MOMENTO EN LA PLANTA.
- LO DA LA EMPRESA
- SOLDADOR
 - MASCARA
 - GUANTES
 - CAMISA
 - ZAPATOS
 - MANOS
 - DELANTAL
 - GORRO
 - MASCARILLA
 - TAPONES OÍDOS
 - ARNÉS
- AYUDANTE
 - CASCO
 - CHALECO
 - ZAPATOS
 - LENTES
 - GUANTES
 - CINTURÓN LUMBAR
 - TAPONES
 - CASACA DE EMERGENCIAS
 - ARNÉS
- PINTOR
 - IGUAL
 - MÁSCARA DE FILTRACIÓN DE ORGÁNICOS.

HERRAMIENTA PARA RECABACIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO

PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Investigador	<u>SEBASTIÁN JIMÉNEZ DELGADO</u>	Persona Entrevistada	<u>ALLAN PADILLA BENEJ</u>
Fecha	<u>17-AGOSTO-2018</u>	Empresa	<u>INDUSTRIA BENIG S.A.</u>
Lugar	<u>GRANILLAS DE DESAMPARADOS</u>	Cargo	<u>INGENIERO ENCARGO DE TALLER.</u>

PLANTEL Y OFICINAS DE EMPRESA

ENTREVISTA

1. ¿Cuánto tiempo registra la empresa como proveedor de AyA?
APROXIMADAMENTE DE 12 AÑOS.
2. ¿La empresa está familiarizada con proyectos de fabricación de tanque metálico elevado?
COMPLETAMENTE.
3. ¿La empresa ha construido tanque metálico elevado para otras instancias que no sea AyA?
SI, RECOPE, SEMANA, INDER (BASTANTES), ENTRE OTROS.
4. ¿La empresa ha sufrido el cobro de multas o ejecución de garantías en proyectos similares?
NUNCA EN NINGUNA OBRAS.
5. ¿La empresa cuenta con los profesionales idóneos en cuanto a experiencia en obras similares para construir proyectos?
SI, DOS CON BASTA EXPERIENCIA.
6. ¿La empresa utiliza con regularidad subcontratos para ejecutar procedimientos? ¿Cuáles?
SI, CONFIRMADO DE METAL CUANDO ES NECESARIO EN BASE A OCUPACIÓN.
7. ¿Cuál es la logística de fabricación de la empresa para tanques metálicos elevados?
LA EMPRESA DIVIDE LA FABRICACIÓN EN 3 ETAPAS DE TALLER Y UNA EN SITIO. ESTRUCTURA DE SOPORTE, RESEDDRIO, ESTRUCTURAS VARIAS Y TRABAJOS EN SITIO. ES IMPORTANTE DESTACAR QUE LA EMPRESA HACE SANDWICH Y PANTA ANTES DE ARMAR. LUEGO SOLDA Y RECUPERA EL ÁREA QUEMADA LUEGO, ESO AHORRA M.O. Y PINTAN EN SITIO. EL PROCESO ESTÁ PRUBADO COMO EFECTIVO.

ESTRUCTURA SOPORTE

PREPARAR SUPERFICIE Y PUNTA
CORTE TUBOS COLUMNAS
" " ARRIBOTES INCLIN.
" " " HORIZ.
ARMANTADO Y RESEDDRIO COLUMN.
" " ARR. INCL.
CORTE Y ROLADO DE ELEM. MENORES
SOLDO DE SECCIÓN INFERIOR MENOR
ARMANTADO Y RESEDDRIO ARRIB. HORIZ.
RECUPERAR ÁREAS DE PINTURA
CARGA Y TRANSPORTE.

RESEDDRIO

ROLAR LÁMINAS
PREPARAR SUPERFICIE ELEMENTOS
1ª CAPA DE PINTURA BASE.
CONSTRUCCIÓN TAPAS PLANAS
ARMADO DE ANILLOS EXTREMOS
" " INTERMEDIOS
CONSTRUCCIÓN PARRILLA INTERNA
RESEDDRIO ANILLOS COMPLETOS
" " INTERMEDIOS
ARMAR EXTREMOS
COLOCAR ENARELA INTERNA
ARMAR RESEDDRIO
RESEDDRIO RESEDDRIO
RECUPERAR SUPERFICIES
2ª CAPA PINTURA BASE.

ESTRUCTURAS VARIAS

PREPARAR SUPERFICIES COMPL.
1ª CAPA PINTURA BASE
CONSTRUCCIÓN PARRILLA EXT
CONSTRUCCIÓN ENLACOS
" ESCALERA ACCESO
" ACCESOS/REPARADOS
" TUBERÍAS
RECUPERAR SUPERFICIES
2ª CAPA PINTURA BASE.

EN SITIO

PONER PERNOS
PONER PACAS Y VERIFICAR NIVELES
MONTAR ESTRUCTURA
RECUPERAR SUPERFICIES
2ª PINTURA (ACABADO)

8. ¿Cuál es la mano de obra involucrada en esa logística? 1 ENCARGADO DE TALLER Y 3 CUADRILAS (1 POR FRENTE), SI ES NECESARIO, SE CONTRATA MÁS GENTE.

CUADRIILA #1	ESTRUCTURA DE SOPORTE	⇒	SOLDADOR 3 ARMADOR 1 AYUDANTE 4 PINTOR 1	} <u>TOTAL</u> 8 SOLDADORES 5 ARMADORES 12 AYUDANTES 1 PINTOR
CUADRIILA #2	RESERVOIO	⇒	SOLDADOR 3 ARMADOR 2 AYUDANTE 5 PINTOR 1	
CUADRIILA #3	ESTRUCTURAS VARIAS	⇒	SOLDADOR 2 ARMADOR 2 AYUDANTE 3 PINTOR 1	

EN SITIO ⇒ 1 SOLDADOR DE TALLER.

9. ¿Cuáles son los equipos y herramientas utilizados en la construcción de las obras?

CORTE	1	SILOTTINA DE CAPACIDAD DE CORTE HASTA 2"
SOLDADO	6	SOLDADORAS ESTACIONARIAS
	3	" INVERSOR
	1	HOLNO ESTACIONARIO
	6	" PORTATIL
PUNCHADO	3	TALADROS ELECTROMAGNÉTICOS
PREPARACION	1	EQUIPO SANDBLAST
PINTURA	2	ARIELS
RODADO	1	ESCALERA HASTA 2"
ARMADO		SUBCONTRATO GRúa
MONTAJE		" "
SUFICIENTE HERRAMIENTA MENOR.		

¡ EXCELENTE EQUIPO !

10. ¿Existen restricciones de espacio para la fabricación, manipulación, carga y descarga de las obras del proyecto?

CAMPO UN POCO REDUCIDO PARA UN T3-SZ, SIN EMBAUDO, TIENE ANCHO DE CARGA DE 650 M²

QUE PARA TRABAJAR SOLDADURA, NAVE TECHADA PARA APUAL DE 2000 M²

NAVE AUXILIAR PARA ANTORA

¡MUY BUENA INSTALACIONES!

EN CASO DE HABER OTRA ESTRUCTURA SIMILAR AL PUNTO TENIDO, EL ANCHO SE USA PARA MATERIAL,
HAY QUE COORDINAR MANEJO.

ESPACIO PARA GUARDAR ESTRUCTURA AMPLO

11. ¿Cómo se maneja la programación y el transporte de carga?

SUBCONTRATA TRANSPORTES CON MANEJO

EMPRESA RESPONSABLE / EMPRESA "REGULAMENTO"

NOMBRE EN ENTREVISTA #1

12. Consideraciones de Seguridad y Salud Ocupacional

- EXCELENTE CULTURA LABORAL EN TEMA DE SEGURIDAD
- PERSONAL CONIENTE Y CAPACITADO
- MISMO EQUIPO DE COORDINA.
- NO SE TRABAJA SI NO HAY EQUIPO
- SE USA EN TODO MOMENTO DURANTE LA JORNADA LABORAL
- NO HAY CASTIGOS → SE ESTÁN IMPLEMENTANDO

HERRAMIENTA PARA RECABACIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO			
PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN			
Investigador	<u>SEBASTIAN JIMENEZ DELGADO</u>	Persona Entrevistada	<u>JUAN SOLANO REYES</u>
Fecha	<u>20 AGOSTO 2018</u>	Empresa	<u>INTEC INTERNACIONAL S.A.</u>
Lugar	<u>TARAS DE SAN NICOLAS, CARTAGO</u>	Cargo	<u>ING. ENCARGADO DE TALLER</u>

TALLER DE FABRICACIÓN ENTREVISTA

- ¿Cuánto tiempo registra la empresa como proveedor de AyA?
3 AÑOS
- ¿La empresa está familiarizada con proyectos de fabricación de tanque metálico elevado?
SI
- ¿La empresa ha construido tanque metálico elevado para otras instancias que no sea AyA?
SI. ALUNASA, MAJINA PEZ VELA, INDER, INVU.
- ¿La empresa ha sufrido el cobro de multas o ejecución de garantías en proyectos similares?
NO
- ¿La empresa cuenta con los profesionales idóneos en cuanto a experiencia en obras similares para construir proyectos?
SI, DOS INGENIEROS.
- ¿La empresa utiliza con regularidad subcontratos para ejecutar procedimientos? ¿Cuáles?
SI, ROLADO DE LÁMINAS Y PINTURA CASI EN TODOS LOS CASOS.
- ¿Cuál es la logística de fabricación de la empresa para tanques metálicos elevados?
2 FRENTE BÁSICOS, 1 FRENTE ADICIONAL Y TRABAJOS EN SITIO EN EL SIGUIENTE ORDEN: ESTRUCTURA DE SOPORTE, TAPAO, OTRAS Y TRABAJO EN SITIO. UN M.O. TALLER ENCARGADO.

ESTRUC SOPORTE	TAPAO	OTRAS	EN SITIO
CORTE TUBOS COLUMNALES	ROLADO LÁMINAS.	CONSTRUCCIÓN PARALELA EXT	COLOCACION PERNEOS
" " ARIOSI. INCL	CONSTRUCCION TAPAO PLANAS	" BARANDAS	" PLACAS
" " " HORIZ.	ARMADO ANILLOS EXTERIORS	" ESCALERA ATIBO	ALINEADO "
CORTE Y PUNCHADO PLACAS	" " INTERIORS	" RESPIRADORS	MONTAJE
APUNTALADO Y ENSAMBLADO COLUM.	CONSTRUCCION PARALELA EXT	" ACCESOS	PINTURA TOTAL
" " " ARIOSI.	RESOLVEDO ANILLOS INTERN.	" TUBERIAS	
CORTE ROLADO MENSULAS	" " COMPRES	PREPARACION DE SUPERFICIE	
SALDADO SECCION INF. MENSULAS	PREPARACION SUPERFICIES	APLICACION PINTURA	
PREPARAR SUPERFICIE	1ER CAPA BASE	CARGA	
PINTURA BASE	ARMADO ELEM. RESERVUO	TRANSPORTE	
CARGA	COLOCAR ESTRUCTURA INTERNA		
TRANSPORTE	ARMAR TAPAO		
	RESOLVER "		
	SOLDAR PATINES MENSULA		
	CARGA		
	TRANSPORTE		

8. ¿Cuál es la mano de obra involucrada en esa logística?

HAY UNA CUADRIJA POR CADA FRETE AL MANCO DE UN EMPLEADO DE TALLER

ESTRUCTURA DE SOPORTE CUADRIJA #1	⇒	SOLDADOR 3 ARMADOR 4 AYUDANTE 5 PINTOR 1	}	TOTAL	
TANQUE CUADRIJA #2	⇒	SOLDADOR 3 ARMADOR 4 AYUDANTE 5 PINTOR 1		SOLDADOR 8 ARMADOR 10 AYUDANTE 14 PINTOR 1	
ESTRUCTURA UNICA CUADRIJA #3	⇒	SOLDADOR 2 ARMADOR 2 PINTOR 1 AYUDANTE 4			

SOLO HAY CONFIGURACIÓN DE PUNILAS DEL ÚLTIMO TANQUE (LA BELLAS, 2016)

9. ¿Cuáles son los equipos y herramientas utilizados en la construcción de las obras?

- CORTE 4 EQUIPOS CORTORTE
- SOLDADURA { 2 SOLDADORAS ESTACIONARIAS
4 " INVERSOE
1 HERRNO ESTACIONARIO
4 " PORTATIL
- PREPARACIÓN SUBCONTRATO
- PINTURA 1 AIRLESS
- ARMADO SUBCONTRATO
- MONTAJE SUBCONTRATO
- SUPLENTE HERRAMIENTA MENOR

10. ¿Existen restricciones de espacio para la fabricación, manipulación, carga y descarga de las obras del proyecto?

- HAY ESPACIO SUFICIENTE ESPACIO PARA FABRICAR ESTRUCTURA → HAY TECHADA GRANDE PARA ABLAR ACCIÓN DEL AGUA EN LA SOLDADURA Y PINTURA / 900 M²
- ESPACIO SUFICIENTE (ES) PARA EL MANEJO DE CARGAS CON GRUAS Y PARA ALMACENAR COMPONENTES GRANDES DEL PROYECTO (TANQUE, COLUMNAS, ETC) / TERRENO DE 2000 M²
- ES PARA INGRESO DE TRAILER DE CARGA Y DESCARGA.
- EN CASO DE OTRA ESTRUCTURA, HABRÍA QUE REVISAR DISPONIBILIDAD DE ESPACIO.
- HAY ADICIONAL A 800M DE DISTANCIA DE 600M² MUY UTIL.

11. ¿Cómo se maneja la programación y el transporte de carga?

- T3SZ PROPIEDAD DE LA EMPRESA
- SE REVISTA "REGLAMENTO"
- LA CARGA LÍMITE NO SE EXCEDE / EL VOLUMEN CONDICIONA LOS ENVÍOS
- HAY QUE BUSCAR NO IRRESPECTAR LÍMITES DE LONGITUD MAS BIEN.

12. Consideraciones de Seguridad y Salud Ocupacional

- POCA CORTADA
- SIMILAR A VAGUO
- NO HAY ING.
- VARIOS OPERARIOS ANDAN EN TENIS
- SE ESTÁ TRABAJANDO CERCA EN UN ACCESO A OFICINA → OPERARIO EN CHANCELES
- VARIOS SIN EQUIPO MÍNIMO
- EN OBRA SE NECESITA
 - CHALFO
 - CALZO
 - ZAPATOS
- EN TORRE NO SE MENEJALLO
- TOMAN PRECAUCIONES CON TRABAJOS EN ALTURA Y CAÍDA (SOTILE TOD CON CUELLO)
- POCO CONTROL
- ESTÁN CONCIENTO QUE DEBEN MENCIONAR TEMAS.

3. Memoria de cálculo de los arriostres horizontales.

	Capacidad en Carga Axial de Vigas de Redondas <i>Proyecto Final de Graduación para Optar por el Grado Licenciatura en Ingeniería en Construcción</i> Arriostres Horizontales	Construcción de dos tanque de almacenamiento elevados metálicos de 150m3 cada uno	
		Pipe8STD	SCH40

Acero

$F_y =$	35	ksi	$F_y =$	2461	kg/cm ²
$F_u =$	58	ksi	$F_y =$	4078	kg/cm ²
$E =$	29000	ksi	$E =$	2038903	kg/cm ²
$G =$	11000	ksi	$G =$	773377	kg/cm ³

A. Propiedades de la Sección:

Sección:

$d_{out} =$	8.625	in	$A_g =$	7.85	in ²	$d_{out} =$	21.9	cm
$d_{int} =$	7.981	in	$J =$	136	in ⁴	$d_{int} =$	20.3	cm
$t_{des} =$	0.322	in	$C_w =$	---	in ⁶	$t_{des} =$	0.82	cm
$I_x =$	68.1	in ⁴	$I_y =$	68.1	in ⁴		26.79	
$S_x =$	15.8	in ³	$S_y =$	15.8	in ³			
$r_x =$	2.95	in	$r_y =$	2.95	in			
$Z_x =$	20.8	in ³	$Z_y =$	20.8	in ³			

B. Revisión de la Esbeltez

Esbeltez para cargas de gravedad (Según Tabla B4.1 AISC 360)

Elemento	λ	λ_p	λ_r	Clasificación
d/t	28.8	91.14	91.14	Sección Compacta

$C_u = 0.168$

Esbeltez para cargas de sísmicas (Según Tabla 10.1 CSCR-10)

Elemento	λ	λ_{hd}	λ_{md}	Clasificación
d/t	28.80	31.49	36.46	Ductilidad optima
Limite máx		58.00	Ok	

C. Capacidad en compresión

$k_x =$	1.0		$k_y =$	1.0	
$L_x =$	4190	mm	$L_y =$	7660	mm
$L_x =$	164.96	in	$L_y =$	301.57	in
$(kL/r)_x =$	55.92		$(kL/r)_x =$	102.23	

1. Pandeo por flexión en secciones no esbeltas (AISC E3)

$kL/r =$	102.2		$P_n =$	160.9	kips
$F_u =$	27.4	ksi			
$F_{cr} =$	20.5	ksi			

Buckled shape of column is shown by dashed line.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
						
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code	T Rotation fixed and translation fixed F Rotation free and translation fixed Ff Rotation fixed and translation free Ff Rotation free and translation free					

$$\phi = 0.90$$

$$\phi P_n = 144.8 \text{ kips}$$

$$\phi P_n = 65.7 \text{ ton}$$

$P_u :$	18.79	ton
$P_u / \phi P_n :$	0.29	OK

D. Capacidad en tensión

CAPACIDAD NOMINAL EN TENSION

(AISC 360-05, Sección D2)

a) Fluencia en el área gruesa (AISC Ecuación D2-1):

F_y : 35 ksi
 A_g : 7,9 in²
 P_n : 274,8 kips

ϕ : 0,90 --> AISC 360-05, Section D2

$\phi P_n = 247,3$ kips

$\phi P_n = 112,1$ ton

a) Ruptura en el área neta (AISC Ecuación D2-2):

F_u : 58,0 ksi
 A_n : 7,9 in²
 U : 0,750
 A_e : 5,9 in²

* Calculada como 1.00 A_g
 Factor de reducción previendo conexión

P_n : 341,5 kips

ϕ : 0,75 --> AISC 360-05, Section D2

$\phi P_n = 256,1$ kips

$\phi P_n = 116,1$ ton

Rige:

$\phi P_n = 247,3$ kips

$\phi P_n = 112,1$ ton

P_u :	17,10	ton
$P_u / \phi P_n$:	0,15	OK

TEC Tecnológico de Costa Rica	Capacidad en Flexión de Vigas de Redondas Proyecto Final de Graduación para Optar por el Grado Licenciatura en Ingeniería en Construcción	Construcción de dos tanque de almacenamiento elevados metálicos de 150m3 cada uno	
	Arriostres Horizontales	Pipe8STD	SCH40

Acero:

$F_y = 35$ ksi $F_y = 2461$ kg/cm²
 $E = 29000$ ksi $E = 2038903$ kg/cm²

A. Propiedades de la Sección:

Sección:

$d_{out} = 8.625$ in	$A_g = 7.85$ in ²	$b_f = 21.9$ cm
$d_{int} = 7.981$ in		$t_f = 20.3$ cm
$t_{des} = 0.322$ in	$J = 136$ in ⁴	$d = 0.82$ cm
	$C_w = ---$ in ⁶	
$I_x = 68.1$ in ⁴	$I_y = 68.1$ in ⁴	
$S_x = 15.8$ in ³	$S_y = 15.8$ in ³	
$r_x = 2.95$ in	$r_y = 2.95$ in	
$Z_x = 20.8$ in ³	$Z_y = 20.8$ in ³	

B. Revisión de la Esbeltez

Elemento	λ	λ_p	λ_r	Clasificación
d/t	28.80	58.00	256.86	Sección Compacta

C. Capacidad en flexión alrededor del Eje Fuerte

$L_b = 4190$ mm $L_b = 164.96$ in

* El Lb se tomó como la libre de la columna

Sección F8 aplica para secciones con $D/t < 0.45E/F_y$

Aplica

1. Momento Plástico (AISC F8.1)

$M_p = 728$ kips-in

2. Pandeo Local (AISC F8.2)

a) sección compacta

$M_n = 728$ kips-in

b) sección no compacta

$M_n = 728$ kips-in

b) sección esbelta

$M_n = 728$ kips-in

$\phi = 0.90$
 $\phi M_{nx} = 655.2$ kips-in

$\phi M_{nx} = 7.55$ ton m

$M_u : 0.71$ ton
 $M_u / \phi M_{nx} : 0.09$ OK

D. Capacidad en flexión alrededor del Eje Débil

1. Fluencia (AISC F6.1)

$$M_n = 728 \text{ kips-in}$$

2. Pandeo Local (AISC F8.2)

$$M_n = 728 \text{ kips-in}$$

$$\phi = 0.90$$

$\phi M_{ny} = 655.2 \text{ kips-in}$

$\phi M_{ny} = 7.55 \text{ ton m}$

$M_u :$	3.56	ton
$M_u / \phi M_{ny} :$	0.47	OK

H. Capacidad a Cortante

$L_v =$	2.35	m (distancia entre la máxima fuerza cortante y cero fuerza cortante)
$L_v =$	92.519685	in
$A_{w,xx} =$	7.85	in ²
$F_u =$	21	ksi

$\phi V_{n,xx} =$	82.43	kips
	37.4	Ton

$V_u :$	0.34	ton
$V_u / \phi V_n :$	0.01	OK

4. Memoria de cálculo de los arriostres inclinados

	Capacidad en Carga Axial de Vigas de Redondas <i>Proyecto Final de Graduación para Optar por el Grado Licenciatura en Ingeniería en Construcción</i>	Construcción de dos tanque de almacenamiento elevados metálicos de 150m ³ cada uno	
	Arriostres Inclinados Fachadas N-S	Pipe8STD	SCH40

Acero:

$F_y =$	35	ksi	$F_y =$	2461	kg/cm ²
$F_u =$	58	ksi	$F_y =$	4078	kg/cm ²
$E =$	29000	ksi	$E =$	2038903	kg/cm ²
$G =$	11000	ksi	$G =$	773377	kg/cm ²

A. Propiedades de la Sección:

Sección:

$d_{out} =$	8.625	in	$A_g =$	7.85	in ²	$d_{out} =$	21.9	cm
$d_{int} =$	7.981	in	$J =$	136	in ⁴	$d_{int} =$	20.3	cm
$t_{des} =$	0.322	in	$C_w =$	---	in ⁶	$t_{des} =$	0.82	cm
$I_x =$	68.1	in ⁴	$I_y =$	68.1	in ⁴		26.79	
$S_x =$	15.8	in ³	$S_y =$	15.8	in ³			
$r_x =$	2.95	in	$r_y =$	2.95	in			
$Z_x =$	20.8	in ³	$Z_y =$	20.8	in ³			

B. Revisión de la Esbeltez

Esbeltez para cargas de gravedad (Según Tabla B4.1 AISC 360)

Elemento	λ	λ_p	λ_r	Clasificación
d/t	26.8	91.14	91.14	Sección Compacta

$C_u =$ 0.240

Esbeltez para cargas de sísmicas (Según Tabla 10.1 CSCR-10)

Elemento	λ	λ_{hd}	λ_{md}	Clasificación
d/t	28.80	31.49	36.46	Ductilidad óptima
Limite máx		58.00	Ok	

C. Capacidad en compresión

$k_x =$	1.0		$k_y =$	1.0	
$L_x =$	4190	mm	$L_y =$	7660	mm
$L_x =$	164.96	in	$L_y =$	301.57	in
$(kL/r)_x =$	55.92		$(kL/r)_y =$	102.23	

1. Pandeo por flexión en secciones no esbeltas (AISC E3)

$kL/r =$	102.2		$P_u =$	160.9	kips
$F_e =$	27.4	ksi			
$F_{cr} =$	20.5	ksi			

Theoretical K value	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.0	1.0	2.0	2.0

$$\phi = 0.90$$

$$\phi P_n = 144.8 \text{ kips}$$

$$\phi P_n = 65.7 \text{ ton}$$

$P_u :$	26.88	ton
$P_u / \phi P_n :$	0.41	OK

D. Capacidad en tensión

CAPACIDAD NOMINAL EN TENSION

(AISC 360-05, Sección D2)

a) Fluencia en el área gruesa (AISC Ecuación D2-1):

F_y : 35 ksi
 A_g : 7,9 in²
 P_n : 274,8 kips

ϕ : 0,90 --> AISC 360-05, Section D2

$\phi P_n = 247,3$ kips

$\phi P_n = 112,1$ ton

a) Ruptura en el área neta (AISC Ecuación D2-2):

F_u : 58,0 ksi
 A_n : 7,9 in²
 U : 0,750
 A_e : 5,9 in²

* Calculada como 1.00 A_g
 Factor de reducción previendo conexión

P_n : 341,5 kips

ϕ : 0,75 --> AISC 360-05, Section D2

$\phi P_n = 256,1$ kips

$\phi P_n = 116,1$ ton

Ríge:

ϕP_n : 247,3 kips

$\phi P_n = 112,1$ ton

P_u :	27,54	ton
$P_u / \phi P_n$:	0,25	OK

TEC Tecnológico de Costa Rica	Capacidad en Flexión de Vigas de Redondas Proyecto Final de Graduación para Optar por el Grado Licenciatura en Ingeniería en Construcción	Construcción de dos tanque de almacenamiento elevados metálicos de 150m3 cada uno	
	Arriostes inclinados Fachadas N-S	Pipe8STD	SCH40

Acero:

$F_y = 35$ ksi $F_y = 2461$ kg/cm²
 $E = 29000$ ksi $E = 2038903$ kg/cm²

A. Propiedades de la Sección:

Sección:

$d_{out} = 8.625$ in	$A_g = 7.85$ in ²	$b_f = 21.9$ cm
$d_{int} = 7.981$ in		$t_f = 20.3$ cm
$t_{des} = 0.322$ in	$J = 136$ in ⁴	$d = 0.82$ cm
	$C_w = ---$ in ⁶	
$I_x = 68.1$ in ⁴	$I_y = 68.1$ in ⁴	
$S_x = 15.8$ in ³	$S_y = 15.8$ in ³	
$r_x = 2.95$ in	$r_y = 2.95$ in	
$Z_x = 20.8$ in ³	$Z_y = 20.8$ in ³	

B. Revisión de la Esbeltez

Elemento	λ	λ_p	λ_r	Clasificación
d/t	28.80	58.00	256.86	Sección Compacta

C. Capacidad en flexión alrededor del Eje Fuerte

$L_b = 4190$ mm $L_b = 164.96$ in

* El Lb se tomó como la libre de la columna

Sección F8 aplica para secciones con $D/t < 0.45E/F_y$

1. Momento Plástico (AISC F8.1)

$M_p = 728$ kips-in

2. Pandeo Local (AISC F8.2)

a) sección compacta

$M_n = 728$ kips-in

b) sección no compacta

$M_n = 728$ kips-in

b) sección esbelta

$M_n = 728$ kips-in

$\phi = 0.90$
 $\phi M_{nx} = 655.2$ kips-in

$\phi M_{nx} = 7.55$ ton m

$M_u : 0.32$ ton
 $M_u / \phi M_{nx} : 0.04$ OK

D. Capacidad en flexión alrededor del Eje Débil

1. Fluencia (AISC F6.1)

$$M_u = 728 \text{ kips-in}$$

2. Pandeo Local (AISC F8.2)

$$M_u = 728 \text{ kips-in}$$

$$\phi = 0.90$$

$\phi M_{ny} = 655.2 \text{ kips-in}$

$\phi M_{ny} = 7.55 \text{ ton m}$

$M_u :$	0.15	ton
$M_u / \phi M_{ny} :$	0.02	OK

H. Capacidad a Cortante

Lv=	2.35	m (distancia entre la máxima fuerza cortante y cero fuerza cortante)
Lv=	92.519685	in
$A_{w,xx} =$	7.85	in ²
$F_u =$	21	ksi

$\phi V_{n,xx} =$	82.43	kips
	37.4	Ton

$V_u :$	0.08	ton
$V_u / \phi V_n :$	0.00	OK

	Capacidad en Carga Axial de Vigas de Redondas <i>Proyecto Final de Graduación para Optar por el Grado Licenciatura en Ingeniería en Construcción</i>	Construcción de dos tanque de almacenamiento elevados metálicos de 150m3 cada uno	
	Arriostres inclinados E-O	Pipe8STD	SCH40

Acero

$F_y =$	35	ksi	$F_y =$	2461	kg/cm ²
$F_u =$	58	ksi	$F_y =$	4078	kg/cm ²
$E =$	29000	ksi	$E =$	2038903	kg/cm ²
$G =$	11000	ksi	$G =$	773377	kg/cm ³

A. Propiedades de la Sección:

Sección:

$d_{out} =$	8.625	in	$A_g =$	7.85	in ²	$d_{out} =$	21.9	cm
$d_{int} =$	7.981	in	$J =$	136	in ⁴	$d_{int} =$	20.3	cm
$t_{des} =$	0.322	in	$C_w =$	---	in ⁶	$t_{des} =$	0.82	cm
$I_x =$	68.1	in ⁴	$I_y =$	68.1	in ⁴		26.79	
$S_x =$	15.8	in ³	$S_y =$	15.8	in ³			
$r_x =$	2.95	in	$r_y =$	2.95	in			
$Z_x =$	20.8	in ³	$Z_y =$	20.8	in ³			

B. Revisión de la Esbeltez

Esbeltez para cargas de gravedad (Según Tabla B4.1 AISC 360)

Elemento	λ	λ_p	λ_r	Clasificación
d/t	28.8	91.14	91.14	Sección Compacta

$C_d = 0.374$

Esbeltez para cargas de sísmicas (Según Tabla 10.1 CSCR-10)

Elemento	λ	λ_{hd}	λ_{md}	Clasificación
d/t	28.80	31.49	36.46	Ductilidad optima
Limite máx		58.00	Ok	

C. Capacidad en compresión

$k_x =$	1.0		$k_y =$	1.0	
$L_x =$	4190	mm	$L_y =$	7660	mm
$L_x =$	164.96	in	$L_y =$	301.57	in
$(kL/r)_x =$	55.92		$(kL/r)_y =$	102.23	

1. Pandeo por flexión en secciones no esbeltas (AISC E3)

$kL/r =$	102.2			
$F_c =$	27.4	ksi		
$F_{cr} =$	20.5	ksi	$P_n =$	160.9 kips

Stiffest shape of column is shown by dashed line.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code						

$\phi = 0.90$
 $\phi P_n = 144.8 \text{ kips}$

$\phi P_n = 65.7 \text{ ton}$

$P_u :$	41.97	ton
$P_u / \phi P_n :$	0.64	OK

D. Capacidad en tensión

CAPACIDAD NOMINAL EN TENSION

(AISC 360-05, Sección D2)

a) Fluencia en el área gruesa (AISC Ecuación D2-1):

F_y : 35 ksi
 A_g : 7,9 in²
 P_n : 274,8 kips

ϕ : 0,90 --> AISC 360-05, Section D2

$\phi P_n = 247,3$ kips

$\phi P_n = 112,1$ ton

a) Ruptura en el área neta (AISC Ecuación D2-2):

F_u : 58,0 ksi
 A_n : 7,9 in²
U : 0,750
 A_e : 5,9 in²

* Calculada como 1.00 A_g
Factor de reducción previendo conexión

P_n : 341,5 kips

ϕ : 0,75 --> AISC 360-05, Section D2

$\phi P_n = 256,1$ kips

$\phi P_n = 116,1$ ton

Rige:

ϕP_n : 247,3 kips

$\phi P_n = 112,1$ ton

P_u :	50,37	ton
$P_u / \phi P_n$:	0,45	OK

TEC Tecnológico de Costa Rica	Capacidad en Flexión de Vigas de Redondas Proyecto Final de Graduación para Optar por el Grado Licenciatura en Ingeniería en Construcción	Construcción de dos tanque de almacenamiento elevados metálicos de 150m3 cada uno	
	Arriostres inclinados E-O	Pipe8STD	SCH40

Acero:

$F_y = 35$ ksi $F_y = 2461$ kg/cm²
 $E = 29000$ ksi $E = 2038903$ kg/cm²

A. Propiedades de la Sección:

Sección:

$d_{out} = 8.625$ in $A_g = 7.85$ in² $b_f = 21.9$ cm
 $d_{int} = 7.981$ in $J = 136$ in⁴ $t_f = 20.3$ cm
 $t_{des} = 0.322$ in $C_w = ---$ in⁶ $d = 0.82$ cm

 $I_x = 68.1$ in⁴ $I_y = 68.1$ in⁴
 $S_x = 15.8$ in³ $S_y = 15.8$ in³
 $r_x = 2.95$ in $r_y = 2.95$ in
 $Z_x = 20.8$ in³ $Z_y = 20.8$ in³

B. Revisión de la Esbeltez

Elemento	λ	λ_p	λ_r	Clasificación
d/t	28.80	58.00	256.86	Sección Compacta

C. Capacidad en flexión alrededor del Eje Fuerte

$L_b = 4190$ mm $L_b = 164.96$ in

* El L_b se tomó como la libre de la columna

Sección F8 aplica para secciones con $D/t < 0.45E/F_y$

1. Momento Plástico (AISC F8.1)

$M_p = 728$ kips-in

2. Pandeo Local (AISC F8.2)

a) sección compacta

$M_n = 728$ kips-in

b) sección no compacta

$M_n = 728$ kips-in

b) sección esbelta

$M_n = 728$ kips-in

$\phi = 0.90$
 $\phi M_{nx} = 655.2$ kips-in

$\phi M_{nx} = 7.55$ ton m

$M_u : 1.39$ ton
 $M_u / \phi M_{nx} : 0.18$ **OK**

D. Capacidad en flexión alrededor del Eje Débil

1. Fluencia (AISC F6.1)

$$M_n = 728 \text{ kips-in}$$

2. Pandeo Local (AISC F8.2)

$$M_n = 728 \text{ kips-in}$$

$$\phi = 0.90$$

$\phi M_{ny} = 655.2 \text{ kips-in}$

$\phi M_{ny} = 7.55 \text{ ton m}$

$M_u :$	1.51	ton
$M_u / \phi M_{ny} :$	0.20	OK

H. Capacidad a Cortante

$L_v =$	2.35	m (distancia entre la máxima fuerza cortante y cero fuerza cortante)
$L_v =$	92.519685	in
$A_{w,xx} =$	7.85	in ²
$F_{\sigma} =$	21	ksi

$\phi V_{n,xx} =$	82.43	kips
	37.4	Ton

$V_u :$	0.37	ton
$V_u / \phi V_n :$	0.01	OK

5. Memoria de cálculo de las columnas.

	Capacidad en Carga Axial de Vigas de Redondas <i>Proyecto Final de Graduación para Optar por el Grado Licenciatura en Ingeniería en Construcción</i>	Construcción de dos tanque de almacenamiento elevados metálicos de 150m3 cada uno	
	Columnas	Pipe12STD	SCH40

Acero ASTM A-53 (Fy = 35 ksi)

$F_y = 35$ ksi	$F_y = 2461$ kg/cm ²
$F_u = 58$ ksi	$F_y = 4078$ kg/cm ²
$E = 29000$ ksi	$E = 2038903$ kg/cm ²
$G = 11000$ ksi	$G = 773377$ kg/cm ²

Elementos críticos

Compresión 74
Tensión 63

A. Propiedades de la Sección:

Sección: Pipe12STD

$d_{out} = 12.75$ in	$A_g = 13.6$ in ²	$d_{out} = 32.4$ cm
$d_{int} = 12$ in		$d_{int} = 30.5$ cm
$t_{des} = 0.375$ in	$J = 523$ in ⁴	$t_{des} = 0.95$ cm
	$C_w = ---$ in ⁶	
$I_x = 262$ in ⁴	$I_y = 262$ in ⁴	34.00
$S_x = 41$ in ³	$S_y = 41$ in ³	
$r_x = 4.39$ in	$r_y = 4.39$ in	
$Z_x = 53.7$ in ³	$Z_y = 53.7$ in ³	

B. Revisión de la Esbeltez

Esbeltez para cargas de gravedad (Según Tabla B4.1 AISC 360)

Elemento	λ	λ_p	λ_r	Clasificación
d/t	36.5	91.14	91.14	Sección Compacta

$C_u = 0.414$

Esbeltez para cargas de sismicas (Según Tabla 10.1 CSCR-10)

Elemento	λ	λ_{hd}	λ_{ms}	Clasificación
d/t	36.50	31.49	36.46	
	Límite máx	58.00	OK	

C. Capacidad en compresión

$k_x = 1.0$	$k_y = 1.0$
$L_x = 4190$ mm	$L_y = 7660$ mm
$L_x = 164.96$ in	$L_y = 301.57$ in
$(kL/r)_x = 37.58$	$(kL/r)_y = 68.70$

1. Pandeo por flexión en secciones no esbeltas (AISC E3)

$kL/r = 68.7$	
$F_e = 60.7$ ksi	$P_n = 373.9$ kips
$F_{cr} = 27.5$ ksi	

Buckled shape of column is shown by dashed line.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code						

$$\phi = 0.90$$

$$\phi P_n = 336.5 \text{ kips}$$

$$\phi P_n = 152.6 \text{ ton}$$

$P_u :$	80.49	ton
$P_u / \phi P_n :$	0.53	OK

D. Capacidad en tensión

CAPACIDAD NOMINAL EN TENSIÓN

(AISC 360-05, Sección D2)

a) Fluencia en el área gruesa (AISC Ecuación D2-1):

F_y : 35 ksi
 A_g : 13,6 in²
 P_n : 476,0 kips

ϕ : 0,90 --> AISC 360-05, Section D2

$\phi P_n = 428,4$ kips

$\phi P_n = 194,3$ ton

a) Ruptura en el área neta (AISC Ecuación D2-2):

F_u : 58,0 ksi
 A_n : 13,6 in²
U : 0,750
 A_e : 10,2 in²

* Calculada como 1.00 A_g

Factor de reducción previendo conexión o rezago de cortante

P_n : 591,6 kips

ϕ : 0,75 --> AISC 360-05, Section D2

$\phi P_n = 443,7$ kips

$\phi P_n = 201,2$ ton

Rige:

ϕP_n : 428,4 kips

$\phi P_n = 194,3$ ton

P_u :	144,08	ton
$P_u / \phi P_n$:	0,74	OK

	Capacidad en Flexión de Vigas de Redondas <i>Proyecto Final de Graduación para Optar por el Grado Licenciatura en Ingeniería en Construcción</i>	Construcción de dos tanque de almacenamiento elevados metálicos de 150m3 cada uno	
	Columnas	Pipe12STD	SCH40

Acero: ASTM A-53 (Fy = 35 ksi)

$F_y = 35$ ksi $F_y = 2461$ kg/cm²
 $E = 29000$ ksi $E = 2038903$ kg/cm²

Elementos críticos Mx 64
My 158

A. Propiedades de la Sección:

Sección: Pipe12STD

$d_{out} = 12.75$ in	$A_g = 13.6$ in ²	$b_f = 32.4$ cm
$d_{int} = 12$ in		$t_f = 30.5$ cm
$t_{des} = 0.375$ in	$J = 523$ in ⁴	$d = 0.95$ cm
	$C_w = ---$ in ⁶	
$I_x = 262$ in ⁴	$I_y = 262$ in ⁴	
$S_x = 41$ in ³	$S_y = 41$ in ³	
$r_x = 4.39$ in	$r_y = 4.39$ in	
$Z_x = 53.7$ in ³	$Z_y = 53.7$ in ³	

B. Revisión de la Esbeltez

Elemento	λ	λ_p	λ_r	Clasificación
d/t	36.50	58.00	256.86	Sección Compacta

C. Capacidad en flexión alrededor del Eje Fuerte

$L_b = 4190$ mm $L_b = 164.96$ in

* El Lb se tomó como la libre de la columna

Sección F8 aplica para secciones con $D/t < 0.45E/F_y$ Aplica

1. Momento Plástico (AISC F8.1)

$M_p = 1880$ kips-in

2. Pandeo Local (AISC F8.2)

a) sección compacta $M_n = 1880$ kips-in

b) sección no compacta $M_n = 1880$ kips-in

b) sección esbelta $M_n = 1880$ kips-in

$\phi = 0.90$

$\phi M_{nx} = 1691.6$ kips-in

$\phi M_{nx} = 19.49$ ton m

$M_u : 2.24$ ton

$M_u / \phi M_{nx} : 0.12$ OK

D. Capacidad en flexión alrededor del Eje Débil

1. Fluencia (AISC F6.1)

$$M_u = 1880 \text{ kips-in}$$

2. Pandeo Local (AISC F8.2)

$$M_u = 1880 \text{ kips-in}$$

$$\phi = 0.90$$

$$\phi M_{ny} = 1691.6 \text{ kips-in}$$

$$\phi M_{ny} = 19.49 \text{ ton m}$$

$M_u :$	1.49	ton
$M_u / \phi M_{ny} :$	0.08	OK

H. Capacidad a Cortante

$L_v =$	2.35	m (distancia entre la máxima fuerza cortante y cero fuerza cortante)
$L_v =$	92.519685	in
$A_{w,xx} =$	13.60	in ²
$F_c =$	21	ksi

$$\phi V_{n,xx} = \begin{matrix} 142.80 & kips \\ 64.8 & Ton \end{matrix}$$

$V_u :$	0.74	ton
$V_u / \phi V_n :$	0.01	OK

6. El Proceso constructivo estándar de tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua potable

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
SUBGERENCIA DE AMBIENTE, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
UEN – ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS



“PROCESO CONSTRUCTIVO ESTÁNDAR DE TANQUES METÁLICOS ELEVADOS PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE”

Elaborado por Sebastián Jiménez Delgado para la UEN – Administración de Proyectos del AyA, como parte del Proyecto final de graduación para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción.

Setiembre, 2018

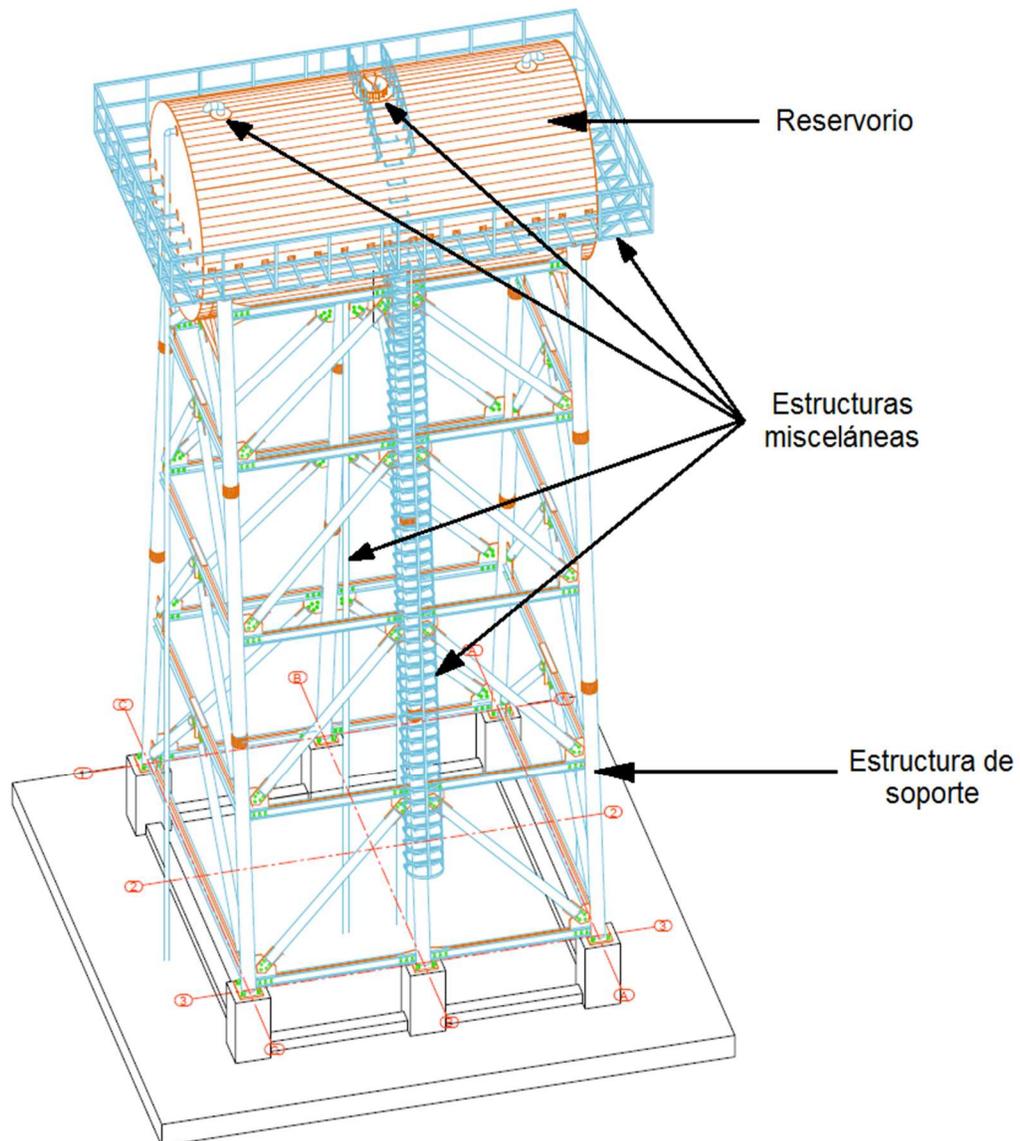
TABLA DE CONTENIDOS.

1. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS.....	112
2. CONSIDERACIONES IMPORTANTES.....	113
3. PROCESO CONSTRUCTIVO ESTÁNDAR DE TANQUES METÁLICOS ELEVADOS PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE.....	117
3.1. INSPECCIÓN PREVIA AL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN.....	117
3.2. DESARROLLO DE PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LOS FRENTE DE TRABAJO.....	119
4. EQUIPO Y MAQUINARIA NECESARIOS PARA EL PROCESO CONSTRUCTIVO ESTÁNDAR DE TANQUES METÁLICOS ELEVADOS PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE.....	131
5. SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL. ...	132
5.1. EQUIPO BÁSICO DE SEGURIDAD PERSONAL.....	132
5.2. TRABAJOS EN ALTURA.....	133
5.3. MANIPULACIÓN DE CARGA.....	134
6. MANO DE OBRA INVOLUCRADA EN EL PROYECTO.....	135

1. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS.

La estructura metalmecánica de los proyectos que involucran tanques elevados metálicos para almacenamiento de agua potable, se compone básicamente de tres subelementos principales que conforman la megaestructura, estos son: estructura de soporte, reservorio y estructuras misceláneas. Éstas últimas se refieren al resto de los elementos que forman parte del tanque y que no se incluyen en las dos primeras caracterizaciones, tales como tuberías de entrada, salida y rebose, escalera y jaula de acceso, pasarela externa, barandas, accesos y respiraderos, entre los más importantes. En la *Figura 1* se puede observar el señalamiento de los diferentes componentes de la megaestructura.

Figura 1. Componentes de la megaestructura metálica de un tanque elevado metálico de almacenamiento de agua potable.



Fuente: planos de taller del proyecto: 2017LA-000042-PRI, Construcción de dos tanques metálicos elevados de 150m³ cada uno.

2. CONSIDERACIONES IMPORTANTES

1. La fabricación de la estructura global debe realizarse mediante la operación de cuatro frentes de trabajo independientes y paralelos entre sí, de los cuales tres de ellos se desarrollan en el taller de fabricación de estructura y coinciden con los componentes de la estructura mencionados en el apartado anterior. El cuarto frente de trabajo –cuyo nombre no se indica en el punto supracitado– corresponde al frente de trabajo realizado en el sitio de ubicación del proyecto, cuyas tareas son de vital importancia para el izaje del tanque.
2. Su ejecución se realiza en diferentes momentos del avance de obra (antes del colado de los pedestales de apoyo y en la etapa de montaje) y precisamente esa ubicación cronológica a lo largo del tiempo, permite que las labores sean abordadas por el mismo personal destacado en taller, en vista de que son actividades de corta duración, o se deben realizar en el momento en que el personal de taller ha concluido con las labores.
3. El procedimiento aquí descrito, contempla una serie de observaciones, experiencias, lecciones aprendidas y destrezas desarrolladas en la consecución de obras similares, las cuales depuran la logística de fabricación de una estructura similar cualquiera, optimizando tiempos y recursos de forma eficiente, logrando un método que puede ser repetido en ocasiones siguientes con buenos resultados.
4. La inspección total del procedimiento que acá se describe, debe ser ejecutada por personal con conocimiento previo en revisión de supervisión de estructura metálica, según se define en el Capítulo IX del ASME.
5. Los criterios de aceptación para la inspección de trabajos de colocado de pintura, independientemente de si se trata de protección base o de acabado, se detallan a continuación en el Cuadro 1:

CUADRO 1. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA TRABAJOS DE PINTURA.	
Discontinuidad	Tolerancia
Goteo	Ninguna
Agrietamiento	Ninguna
Ampollamiento	Ninguna
Corrugado o plegamiento	Ninguna
Falta de adherencia	Ninguna
Caleo o pulverización	Ninguna
Se debe tener especial cuidado con las siguientes condiciones atmosféricas	
Humedad relativa (%)	Según ficha técnica del fabricante
Temperatura atmosférica	Según ficha técnica del fabricante
Temperatura de la superficie	Según ficha técnica del fabricante
ΔT (T atmosfera – T superficie)	Según ficha técnica del fabricante

Fuente: elaboración propia con base en las normas ASTM D-3359 y NACE.

6. Por su parte, en referencia a los trabajos de soldadura que se deban realizar con cordones de base, relleno y corona, se definen en el Cuadro 2 las pautas para la aceptación de dichos componentes, en relación con las discontinuidades que se presentan.

CUADRO 2. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA TRABAJOS DE SOLDADURA.

Discontinuidad	Tolerancia	
Porosidad	Ninguna	
Agrietamiento	Ninguna	
Falta de penetración	Ninguna	
Cráter de sección transversal	Ninguna	
Socavación	Espesor de metal base (mm)	Tolerancia (mm)
	$t < 25$	1
	$t \geq 25$	2
Dimensionamiento incorrecto de ala en soldaduras de filete	Longitud de ala definida en planos (mm)	Disminución de ala tolerada (mm)
	$L \leq 5$	2
	$L = 6$	2,5
	$L > 6$	3
Dimensiones incorrectas en soldaduras de tope o relleno	Ninguna	

Fuente: American Welding Society 2010 y American Water Works Association, 2006.

7. Por otra parte, las normas ASTM E-165 y AWWA C-100 establecen la posibilidad de realizar pruebas de líquidos penetrantes aleatorias en un 10% de la soldadura, o en aquellos casos donde se sospeche de la existencia de las discontinuidades descritas en el Cuadro 2. Una vez realizada la aplicación de la prueba (limpiando la superficie, aplicando líquido penetrante, limpiando excesos de este y por último, aplicando el líquido debelador), el criterio de aceptación para la evaluación de los cordones es claro a la hora de determinar que la superficie analizada debe resultar completamente blanca y sin contrastes entre el líquido penetrante (rojo) y el debelador (blanco). La Figura 2 y la Figura 3 sintetizan los criterios de aceptación y rechazo respectivamente para la aplicación del ensayo no destructivo en cuestión, donde se observa una prueba aprobada y una que no logró la aceptación como válida, en virtud de la cantidad de líquido penetrante que ingresó en las inconsistencias –porosidad en este caso– y que reacciona con el debelador en la finalización de la prueba.



Figura 2. Prueba de líquidos penetrantes aprobada y aplicada sobre un tubo de acero.
 Fuente: captura propia durante el proceso de inspección de los Pasos elevados del acueducto costero de Santa Cruz, 2017.



Figura 3. Prueba de líquidos penetrantes rechazada y aplicada sobre un paso elevado de cercha de acero.
 Fuente: captura propia durante el proceso de inspección de un paso elevado sobre acequia en Jacó, 2016.

8. En relación con la inspección periódica de los métodos descritos en el procedimiento de fabricación del siguiente apartado, el control de calidad se debe realizar en virtud del tipo de actividad realizada y su naturaleza, según se indica en el siguiente cuadro:

CUADRO 3. TIPO DE INSPECCIÓN A REALIZAR SEGÚN LA ACTIVIDAD.	
Actividad	Descripción
Preparación de la superficie	Realizar la medición del perfil de anclaje en la superficie del metal generado por el método de limpieza utilizado mediante el kit de inspección de pintura <i>Positector Advance</i> .
Corte y apuntalado	Realizar la medición mecánica de longitudes mediante cinta métrica, según lo definido en planos oficiales y planos de taller.
Resoldeo	Realizar la inspección visual del 100% de los cordones de soldadura de raíz, relleno y corona generados (1) y realizar la aplicación de pruebas de líquidos de penetración en un 10% de la soldadura como mínimo, o en los puntos donde se tenga duda sobre la existencia de porosidad, socavación, fractura o cualquier otra discontinuidad en la soldadura (2).
Recuperación de superficie	Realizar la inspección visual que garantice que el área generada por el proceso de limpieza no contenga ningún contaminante (virutas, escoria, pintura quemada por soldadura, etc).
Aplicación de pintura	Realizar la inspección visual de la pintura colocada para identificar cualquiera de las discontinuidades descritas en el Cuadro 2, así como la verificación del espesor de pintura en seco mediante el kit de inspección de pintura <i>Positector Advance</i> con 50 tomas de medición cada 100 m ² de estructura (3). Se debe tener especial atención con las condiciones climáticas.

Ponchado de placas	Realizar la medición mecánica de longitudes de ubicación de los orificios mediante cinta métrica, según lo definido en planos oficiales y planos de taller.
Doblaje de láminas de acero para tanque	Realizar la medición del diámetro de rolado de las láminas de metal, mediante medición mecánica con cinta métrica.
Corte de láminas para tapas planas	Realizar la medición mecánica mediante cinta métrica de los diámetros y longitudes de los gajos que componen los elementos.
Doblaje de peldaños de varilla	Realizar la medición mecánica mediante cinta métrica de las longitudes de los peldaños que componen la escalera de acceso. Se debe verificar que su doblez sea mediante deformación manual y no gracias a la aplicación de calor.
Doblaje de platinas para jaula de acceso	Realizar la medición mecánica mediante cinta métrica de los diámetros y longitudes de los elementos que componen la jaula de la escalera de acceso. Se debe verificar que su doblez sea mediante deformación manual y no gracias a la aplicación de calor.
Aplicación de pintura de acabado en la totalidad de la estructura	Realizar la inspección visual de la pintura colocada para identificar cualquiera de las discontinuidades descritas en el Cuadro 2, así como la verificación del espesor de pintura en seco mediante el kit de inspección de pintura <i>Positector Advance</i> . Es fundamental realizar el seguimiento de las condiciones atmosféricas según los límites descritos en la ficha técnica del fabricante, con la intención de no exceder los valores ahí descritos y garantizar una aplicación óptima. En aquellos casos donde se sospeche de algún defecto por inconsistencia de la pintura, se debe realizar una prueba de resistencia al halado (4) conocida como " <i>pull-off</i> " mediante el kit respectivo de la prueba <i>Positector Advance</i> según los valores de la ficha técnica.

Fuente: elaboración propia.

(1) Según se indica en la norma AWS D1.1 y AWWA C-100.

(2) Según se indica en la norma ASTM E-165 y AWS D1.1.

(3) y (4) Según se indica en la norma ASTM D-7091

9. Tal y como se indica en el capítulo IX del ASME y se ratifica en la norma AWWA C-100, en virtud del tipo e importancia de la estructura, la inspección del avance de obra debe realizarse de la manera más periódica posible, para así garantizar que los trabajos se realizan de manera óptima, gracias a un control de calidad constante sobre las obras. Así entonces, se define como mínimo una inspección semanal al taller de fabricación de estructura metálica para ejecutar el control de calidad sobre procedimientos aplicados y productos obtenidos. Es importante recalcar que una inspección regular minimiza la posibilidad de errores de los métodos de ejecución, al mismo tiempo que procura disminuir las inconsistencias en los resultados, en la línea de producción misma.

3. PROCESO CONSTRUCTIVO ESTÁNDAR DE TANQUES METÁLICOS ELEVADOS PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE

3.1. Inspección previa al proceso de construcción

De forma anticipada al inicio de cualquier proceso de construcción perteneciente a la estructura, el adjudicatario de la obra debe presentar ante la Institución para su debida aprobación los siguientes requisitos descritos en el Cuadro 4:

CUADRO 4. REQUISITOS PREVIOS AL INICIO DE OBRAS.	
Requisito	Descripción
WPS	Formulario de Especificación del procedimiento de soldadura (<i>welding procedure specification</i> en inglés) con base en las soldaduras que se realizarán en el proyecto (1).
PQR (4)	Formulario de Registros de calificación de procedimiento (<i>procedure qualification records</i> en inglés) como un procedimiento opcional de medición de capacidad de operación del soldador y previo a la calificación del mismo, con base en lo delimitado en el WPS (2).
Certificación de soldadores	Documento probatorio extendido de acuerdo a las posiciones de soldeo utilizadas en la obra y descritas en el WPS, debe contar con una fecha de expedición que no supere los seis meses (3).
Planos de taller	Desglose de las estructuras del proyecto elaborado de acuerdo con las dimensiones, especificaciones y definiciones establecidas en los planos oficiales del proyecto.
Revisión previa de materiales	Fichas técnicas que permitan la verificación del cumplimiento de las especificaciones técnicas de la totalidad de los materiales a utilizar en las obras.
Subcontratistas	Definición de los subcontratistas a utilizar en el proyecto, incluyendo información precisa de la actividad a ejecutar, las fechas aproximadas de inicio y fin y el porcentaje que significa el subcontrato, en relación con el costo total de la obra.

Fuente: elaboración propia con base en la normativa descrita en las referencias.

(1) y (2) Según se indica en la Sección IX del ASME.

(3) Según se indica en el capítulo D1.1 del AWS y en la Sección IX del ASME.

(4) Opcional.

La inspección de esta etapa debe ser documentada mediante la *Ficha de supervisión de trabajos de metalmecánica (Inspección previa al proceso de construcción)*, incluyendo los datos que ahí se solicitan e incorporando el visto bueno del inspector de la Institución y la persona a cargo por parte del contratista. El formulario mencionado se adjunta a continuación en la Figura 4.

3.2. Desarrollo de proceso de construcción de los frentes de trabajo

A continuación, en los Cuadros 5, 6, 7 y 8 se presenta el proceso productivo estándar de tanques metálicos elevados de almacenamiento de agua potable por cada frente de trabajo.

CUADRO 5. DESGLOSE DE ACTIVIDADES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO PARA EL FRENTE DE TRABAJO DENOMINADO ESTRUCTURA DE SOPORTE		
Actividad	Tarea	Alcance
Columnas	Preparación de la superficie	Se realiza la limpieza de la superficie de los elementos de columnas mediante el método de remoción de impurezas definido en planos. No se debe limpiar una cantidad de elementos mayor a la que se puede pintar en un día de trabajo.
	Aplicación de una capa de pintura base	Se realiza la aplicación de la primera capa de pintura base definida en planos para protección de las columnas. Su colocado se debe hacer de manera inmediata al término de la preparación y no es necesario medir su espesor en seco.
	Corte de tubos	Se realiza al trazo y corte de los elementos según los planos de taller y los planos oficiales de la obra.
	Apuntalado	Se realiza el ensamblaje previo del elemento según los planos de taller y los planos oficiales de la obra, mediante la colocación de puntos de soldadura previos de fijación.
	Resoldeo	Se realiza el soldeo final de los elementos según la aplicación de los cordones de soldadura definidos en planos.
Placas de unión y atezadores	Corte	Se realiza al trazo y corte de las placas de unión de los diferentes elementos de la estructura de soporte, así como de las placas rigidizadoras de nudos, según los planos de taller y del proyecto.
	Ponchado	Se realiza la perforación de los agujeros para pernos de armando de ambos elementos, según lo indican los planos de taller y del proyecto.
	Preparación de la superficie	Se realiza la limpieza de la superficie de placas y rigidizadores una vez procesados, mediante el método de remoción de impurezas definido en planos. No se debe limpiar una cantidad de elementos mayor a la que se puede pintar en un día de trabajo.
	Aplicación de una capa de pintura base	Se realiza la aplicación de la primera capa de pintura base definida en planos para protección de los elementos. Su colocado se debe hacer de manera inmediata al término de la preparación y no es necesario medir su espesor en seco.
Arriostres horizontales	Preparación de la superficie	Se realiza la limpieza de la superficie de los elementos de arriostres horizontales, mediante el método de remoción de impurezas definido en planos. No se debe limpiar una cantidad de elementos mayor a la que se puede pintar en un día de trabajo.
	Aplicación de una capa de pintura base	Se realiza la aplicación de la primera capa de pintura base definida en planos para protección de los arriostres horizontales. Su colocado se debe hacer de manera inmediata al término de la preparación y no es necesario medir su espesor en seco.
	Corte de tubos	Se realiza el trazo y corte de los elementos, incluyendo el nido para la colocación de placas, según los planos de taller y los planos oficiales de la obra.

CUADRO 5. CONTINUACIÓN		
Actividad	Tarea	Alcance
Arriostres horizontales	Apuntalado	Se realiza el ensamblaje previo del elemento según los planos de taller y los planos oficiales de la obra, mediante la colocación de puntos de soldadura previos de fijación.
	Resoldeo	Se realiza el soldeo final de los elementos según la aplicación de los cordones de soldadura definidos en planos.
Arriostres inclinados	Preparación de la superficie	Se realiza la limpieza de la superficie de los elementos de arriostres inclinados, mediante el método de remoción de impurezas definido en planos. No se debe limpiar una cantidad de elementos mayor a la que se puede pintar en un día de trabajo.
	Aplicación de una capa de pintura base	Se realiza la aplicación de la primera capa de pintura base definida en planos para protección de los arriostres inclinados. Su colocado se debe hacer de manera inmediata al término de la preparación y no es necesario medir su espesor en seco.
	Corte de tubos	Se realiza al trazo y corte de los elementos, incluyendo el nido para la colocación de placas, según los planos de taller y los planos oficiales de la obra.
	Apuntalado	Se realiza el ensamblaje previo del elemento según los planos de taller y los planos oficiales de la obra, mediante la colocación de puntos de soldadura previos de fijación.
	Resoldeo	Se realiza el soldeo final de los elementos según la aplicación de los cordones de soldadura definidos en planos.
Recuperación de superficie	Limpieza	Se realiza la eliminación de escoria, salpicadura de soldadura y contaminación en general de la superficie externa completa de todos los elementos procesados en este frente de trabajo. Además se realiza la limpieza manual de la zona de pintura afectada por el calor de aplicación de soldadura, así como de cualquier abolladura en la pintura base generada por la manipulación de los elementos, para así generar una superficie homogénea y apta para la aplicación de una segunda capa de pintura base.
Aplicación de pintura base	Colocado	Una vez limpios los elementos producidos en el frente de trabajo, se procede a la aplicación de la segunda capa de pintura de base. Es fundamental respetar los tiempos de secado de pintura definidos por el fabricante, para garantizar la adherencia de la misma.

Fuente: elaboración propia.

CUADRO 6. DESGLOSE DE ACTIVIDADES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO PARA EL FRENTE DE TRABAJO DENOMINADO *RESERVORIO*

Actividad	Tarea	Alcance
Rolado de láminas del tanque	Doblaje	Se realiza ya sea mediante equipos propios o mediante un subcontrato de servicios, para doblar las láminas de acero según las dimensiones descritas en planos de taller.
	Preparación de la superficie	Se realiza la limpieza de la superficie de las láminas curvas, mediante el método de remoción de impurezas definido en planos. No se debe limpiar una cantidad de láminas mayor a la que se puede pintar en un día de trabajo.
	Aplicación de una capa de pintura base	Se realiza la aplicación de la primera capa de pintura base definida en planos para protección de las láminas curvas. Su colocado se debe hacer de manera inmediata al término de la preparación y no es necesario medir su espesor en seco.
Tapas planas de los cilindros extremos	Preparación de la superficie	Se realiza la limpieza de la superficie de las láminas mediante el método de remoción de impurezas definido en planos. No se debe limpiar una cantidad de elementos mayor a la que se puede pintar en un día de trabajo.
	Aplicación de una capa de pintura base	Se realiza la aplicación de la primera capa de pintura base definida en planos para protección de las láminas. Su colocado se debe hacer de manera inmediata al término de la preparación y no es necesario medir su espesor en seco.
	Corte de láminas	Se realiza al trazo y corte de los gajos según los planos de taller y los planos oficiales de la obra.
	Apuntalado	Se realiza el ensamblaje previo de las tapas según los planos de taller y los planos oficiales de la obra, mediante la colocación de puntos de soldadura previos de fijación.
	Resoldeo	Se realiza el soldeo final de las tapas según la aplicación de los cordones de soldadura definidos en planos.
Anillos extremos e intermedios del tanque	Apuntalado	Se realiza el ensamblaje previo de las conchas según los planos de taller y los planos oficiales de la obra, mediante la colocación de puntos de soldadura previos de fijación.
	Resoldeo	Se realiza el soldeo final de las conchas según la aplicación de los cordones de soldadura definidos en planos.
Pasarela interna	Preparación de la superficie	Se realiza la limpieza de la superficie de los tubos rectangulares completos, mediante el método de remoción de impurezas definido en planos. No se debe limpiar una cantidad de elementos mayor a la que se puede pintar en un día de trabajo.
	Aplicación de una capa de pintura base	Se realiza la aplicación de la primera capa de pintura base definida en planos para protección de los tubos rectangulares completos. Su colocado se debe hacer de manera inmediata al término de la preparación y no es necesario medir su espesor en seco.
	Corte de tubos	Se realiza al trazo y corte de los tubos rectangulares, según los planos de taller y los planos oficiales de la obra.
	Apuntalado	Se realiza el ensamblaje previo de la pasarela según los planos de taller y los planos oficiales de la obra, mediante la colocación de puntos de soldadura previos de fijación.
	Resoldeo	Se realiza el soldeo final de la pasarela según la aplicación de los cordones de soldadura definidos en planos.

CUADRO 6. CONTINUACIÓN		
Actividad	Tarea	Alcance
Armado del tanque	Apuntalado	Se realiza el ensamblaje previo de un anillo extremo y uno intermedio y el restante anillo extremo con los últimos dos centrales por otro lado para generar dos anillos compuestos, según los planos de taller y los planos oficiales de la obra, mediante la colocación de puntos de soldadura previos de fijación.
	Resoldeo	Se realiza el soldeo final de cada mitad del reservorio según la aplicación de los cordones de soldadura definidos en planos
Colocado de la pasarela interna	Colocación	Con el anillo compuesto de tres subelementos firmemente apoyado y apuntalado sobre una estructura de soporte a nivel de suelo y en posición vertical, con ayuda de una grúa se embute la pasarela interna hasta su posición final contra la tapa plana posicionada contra el suelo, para luego apuntalar contra la pared interna del tanque el tramo de esta que se encuentra dentro del anillo compuesto. Posteriormente se iza el restante anillo compuesto para tapar el anillo sentado en el suelo y formar el reservorio en una sola pieza
	Apuntalado	Se realiza apuntalando el resto de la pasarela interna al anillo compuesto recién colocado y se apuntalan los anillos que ya dan forma al reservorio entre sí. Lo anterior permite girar dicha estructura en 90° y colocarlo ahora en posición horizontal, sobre una superficie también firmemente apoyada y apuntalada.
	Resoldeo	Se realiza el soldeo final de la pasarela interna a las paredes internas del tanque, así como el resoldeo de la totalidad de los anillos del tanque, hasta formar el reservorio completamente soldado
Soldeo de patines superiores de ménsula de apoyo	Resoldeo	Se realiza el soldeo final de los patines superiores (curvos) a la pared externa del reservorio, justo adonde se apoyará la estructura de contención de agua potable en las patas, según la aplicación de los cordones de soldadura definidos en planos.
Recuperación de superficie	Limpieza	Se realiza la eliminación de escoria, salpicadura de soldadura y contaminación en general de la superficie externa completa de todos los elementos procesados en este frente de trabajo. Además se realiza la limpieza manual de la zona de pintura afectada por el calor de aplicación de soldadura, así como de cualquier abolladura en la pintura base generada por la manipulación de los elementos, para así generar una superficie homogénea y apta para la aplicación de una segunda capa de pintura base.
Aplicación de pintura base	Colocado	Una vez limpios los elementos producidos en el frente de trabajo, se procede a la aplicación de la segunda capa de pintura de base. Es fundamental respetar los tiempos de secado de pintura definidos por el fabricante, para garantizar la adherencia de la misma.

Fuente: elaboración propia.

CUADRO 7. DESGLOSE DE ACTIVIDADES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO PARA EL FRENTE DE TRABAJO DENOMINADO *ESTRUCTURAS MISCELÁNEAS*

Actividad	Tarea	Alcance
Pasarela externa	Preparación de la superficie	Se realiza la limpieza de la superficie de los tubos rectangulares completos, mediante el método de remoción de impurezas definido en planos. No se debe limpiar una cantidad de elementos mayor a la que se puede pintar en un día de trabajo.
	Aplicación de una capa de pintura base	Se realiza la aplicación de la primera capa de pintura base definida en planos para protección de los tubos rectangulares completos. Su colocado se debe hacer de manera inmediata al término de la preparación y no es necesario medir su espesor en seco.
	Corte de tubos	Se realiza al trazo y corte de los tubos rectangulares, según los planos de taller y los planos oficiales de la obra.
	Apuntalado	Se realiza el ensamblaje previo de la pasarela aislada según los planos de taller y los planos oficiales de la obra, mediante la colocación de puntos de soldadura previos de fijación.
	Resoldeo	Se realiza el soldeo de la pasarela aislada según la aplicación de los cordones de soldadura definidos en planos.
Barandas de la pasarela externa	Preparación de la superficie	Se realiza la limpieza de la superficie de los tubos cuadrados completos, mediante el método de remoción de impurezas definido en planos. No se debe limpiar una cantidad de elementos mayor a la que se puede pintar en un día de trabajo.
	Aplicación de una capa de pintura base	Se realiza la aplicación de la primera capa de pintura base definida en planos para protección de los tubos cuadrados completos. Su colocado se debe hacer de manera inmediata al término de la preparación y no es necesario medir su espesor en seco.
	Corte de tubos	Se realiza al trazo y corte de los tubos cuadrados, según los planos de taller y los planos oficiales de la obra.
	Apuntalado	Se realiza el ensamblaje previo de la baranda aislada según los planos de taller y los planos oficiales de la obra, mediante la colocación de puntos de soldadura previos de fijación.
	Resoldeo	Se realiza el soldeo final de la baranda aislada según la aplicación de los cordones de soldadura definidos en planos.
Ménsulas de apoyo del tanque	Preparación de la superficie	Se realiza la limpieza de la superficie de las láminas, mediante el método de remoción de impurezas definido en planos. No se debe limpiar una cantidad de elementos mayor a la que se puede pintar en un día de trabajo.
	Aplicación de una capa de pintura base	Se realiza la aplicación de la primera capa de pintura base definida en planos para protección de las láminas. Su colocado se debe hacer de manera inmediata al término de la preparación y no es necesario medir su espesor en seco.
	Corte de láminas	Se realiza al trazo y corte de las láminas, según los planos de taller y los planos oficiales de la obra. Se puede realizar mediante un subcontrato o utilizando equipo propio.
	Apuntalado	Se realiza el ensamblaje previo del tramo inferior de la ménsula (alma de peralte variable y patín inferior recto) según los planos de taller y los planos oficiales de la obra, mediante la colocación de puntos de soldadura previos de fijación. Es importante recalcar que el patín superior curvo de la ménsula se suelda a la pared externa del tanque.

CUADRO 7. CONTINUACIÓN		
Actividad	Tarea	Alcance
Ménsulas de apoyo del tanque	Resoldeo	Se realiza el soldeo final del tramo inferior de la ménsula según la aplicación de los cordones de soldadura definidos en planos.
Escalera de acceso al tanque	Doble de peldaños de varilla	Se realiza el doble de las varillas corrugadas a utilizar como peldaños en la escalera de acceso. El repliegue debe realizarse de manera mecánica sin utilizar calor.
	Doble de platina para jaula	Se realiza el doble de las platinas que servirán como jaula de protección para la escalera de acceso.
	Apuntalado	Se realiza el ensamblaje previo de la escalera de acceso aislada (platinas rectas, platinas curvas, peldaños y angular de soporte) según los planos de taller y los planos oficiales de la obra, mediante la colocación de puntos de soldadura previos de fijación.
	Resoldeo	Se realiza el soldeo final de la escalera aislada según la aplicación de los cordones de soldadura definidos en planos.
Tuberías de entrada, salida y rebose	Preparación de la superficie	Se realiza la limpieza de la superficie de los tubos completos, mediante el método de remoción de impurezas definido en planos. No se debe limpiar una cantidad de elementos mayor a la que se puede pintar en un día de trabajo.
	Aplicación de una capa de pintura base	Se realiza la aplicación de la primera capa de pintura base definida en planos para protección de los tubos completos. Su colocado se debe hacer de manera inmediata al término de la preparación y no es necesario medir su espesor en seco.
	Corte de tubos	Se realiza al trazo y corte de los tubos, según los planos de taller y los planos oficiales de la obra.
	Apuntalado	Se realiza el ensamblaje previo de los tubos con su altura final, según los planos de taller y los planos oficiales de la obra, mediante la colocación de puntos de soldadura previos de fijación.
	Resoldeo	Se realiza el soldeo final de los tubos con su altura final según la aplicación de los cordones de soldadura definidos en planos.
Acceso al tanque y respiraderos	Preparación de la superficie	Se realiza la limpieza de la superficie de los elementos, mediante el método de remoción de impurezas definido en planos. No se debe limpiar una cantidad de elementos mayor a la que se puede pintar en un día de trabajo.
	Aplicación de una capa de pintura base	Se realiza la aplicación de la primera capa de pintura base definida en planos para protección de los elementos. Su colocado se debe hacer de manera inmediata al término de la preparación y no es necesario medir su espesor en seco.
	Corte de elementos	Se realiza al trazo y corte de los tubos, anillos de refuerzo de la pared del tanque, escotilla y demás elementos según los planos de taller y los planos oficiales de la obra.
	Apuntalado	Se realiza el ensamblaje previo de los elementos aislados, según los planos de taller y los planos oficiales de la obra, mediante la colocación de puntos de soldadura previos de fijación.
	Resoldeo	Se realiza el soldeo final de los elementos aislados con su altura final según la aplicación de los cordones de soldadura definidos en planos.

CUADRO 7. CONTINUACIÓN		
Actividad	Tarea	Alcance
Recuperación de superficie	Limpieza	Se realiza la eliminación de escoria, salpicadura de soldadura y contaminación en general de la superficie externa completa de todos los elementos procesados en este frente de trabajo. Además, se realiza la limpieza manual de la zona de pintura afectada por el calor de aplicación de soldadura, así como de cualquier abolladura en la pintura base generada por la manipulación de los elementos, para así generar una superficie homogénea y apta para la aplicación de una segunda capa de pintura base.
Aplicación de pintura base	Colocado	Una vez limpios los elementos producidos en el frente de trabajo, se procede a la aplicación de la segunda capa de pintura de base. Es fundamental respetar los tiempos de secado de pintura definidos por el fabricante, para garantizar la adherencia de la misma.

Fuente: elaboración propia.

La inspección de los trabajos relacionados con la colocación de cordones de soldadura y de pintura de cada uno de los frentes de trabajo, debe ser documentada mediante la *Ficha de supervisión de trabajos de metalmecánica (Inspección de procesos de soldeo)* y la *Ficha de supervisión de trabajos de metalmecánica (Inspección de procesos de colocación de pintura)* respectivamente, incluyendo los datos que ahí se solicitan e incorporando el visto bueno del inspector de la Institución y la persona a cargo por parte del contratista. Los formularios correspondientes se adjuntan a continuación en las Figuras 5 y 6.

CUADRO 8. DESGLOSE DE ACTIVIDADES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO PARA EL FRENTE DE TRABAJO DENOMINADO *TRABAJO EN SITIO*

Actividad	Tarea	Alcance
Colocación de pernos de anclaje previo al colado de pedestales	Ubicación	Se realiza la ubicación y fijación de los pernos de anclaje de la estructura metálica dentro de los pedestales, mediante bastones auxiliares de varilla y alambre negro. Se debe colocar una placa de madera hueca en el centro y de dimensiones idénticas a la placa de asiento de metal, de manera que impida el desplazamiento de los pernos mediante la colada de las columnas. Es conveniente colocar un cobertor de rosca en el extremo del perno que quedará fuera del pedestal.
Colocación de placas de asiento posterior al colado de pedestales	Ubicación	Se realiza la ubicación y nivelación de las placas de asiento de la estructura de soporte sobre los pedestales colados. La nivelación se debe realizar mediante mortero expansivo y debe obedecer a la altura definida en los planos de taller y los planos oficiales. Por último, se debe aplicar el torque sugerido en planos a las tuercas sobre los pernos.
Verificación de nivel placas de asiento	Comprobar	Se realiza la comprobación de que la ubicación final de las placas de asiento sea la que corresponde a la descrita en los planos de taller y los planos oficiales, una vez que el mortero expansivo haya fraguado.
Montaje de la estructura	Apuntalado	<ul style="list-style-type: none"> - Se realiza el armado a nivel de suelo de cada uno de los marcos de carga de la estructura de soporte mediante las uniones pernadas. Una vez concluida esta etapa, se coloca el tramo inferior de la ménsula de soporte en cada marco. - Se realiza el izaje de cada marco mediante grúa, interconectándolos con los arriostres horizontales e inclinados mediante las uniones pernadas. - Se realiza la colocación a nivel del suelo de la pasarela externa en las paredes externas del tanque y sus respectivas barandas, así como las previstas para las diferentes tuberías, respiraderos y el acceso al tanque. - Se realiza el izaje mediante grúa del reservorio completo y su colocación previa uniendo mediante soldadura el patín curvo de la ménsula de soporte (unido al tanque) con el tracto inferior de esta (unido a la estructura de soporte). - Se realiza la colocación de la escalera de acceso construida mediante grúa, en la columna que se indica en planos. - Se realiza la colocación de las tuberías de trasiego de líquido en el tanque.
	Resoldeo	<ul style="list-style-type: none"> - Se realiza el resoldeo final a nivel de suelo del tramo inferior de la ménsula de soporte en cada marco. - Se realiza el soldeo final a nivel del suelo de la pasarela externa en las paredes externas del tanque y sus respectivas barandas, así como las previstas para las diferentes tuberías, respiraderos y el acceso al tanque. - Se realiza el resoldeo final del reservorio completo uniendo mediante soldadura el patín curvo de la ménsula de soporte (unido al tanque) con el tracto inferior de esta (unido a la estructura de soporte). - Se realiza el soldeo final de la escalera de acceso construida mediante grúa, en la columna que se indica en planos. - Se realiza el resoldeo de las tuberías de trasiego de líquido.

CUADRO 8. CONTINUACIÓN		
Actividad	Tarea	Alcance
Repinte de la estructura	Recuperación de la superficie	Se realiza la eliminación de escoria, salpicadura de soldadura y contaminación en general de la superficie externa completa del tanque elevado de manera integral. Además, se realiza la limpieza manual de las zonas de pintura afectada por el calor de aplicación de soldadura, así como de cualquier abolladura en la pintura base generada por la manipulación de los elementos para su izaje, para así generar una superficie homogénea y apta para la aplicación de la capa de pintura de acabado. Este procedimiento es fundamental para garantizar la adherencia de la capa de protección siguiente.
	Aplicación de pintura de base en los parches recuperados	Una vez limpia la estructura, se procede a la aplicación de pintura de base en las zonas recuperadas que así lo requieran, es decir, en aquellas donde los trabajos hayan descubierto el metal en blanco o desgastado visiblemente la pintura base aplicada al inicio de los trabajos. Es fundamental respetar los tiempos de secado de pintura definidos por el fabricante, para garantizar la adherencia de la misma.
	Aplicación de pintura de acabado en la totalidad de la estructura	Una vez preparada la pintura basal de la estructura completa, se procede a la aplicación de las capas de pintura de acabado necesarias, hasta alcanzar el espesor de pintura seca definido en planos. Es fundamental respetar los tiempos de secado de pintura definidos por el fabricante, para garantizar la adherencia de la misma. Se debe realizar de aplicación de pintura en una sola barrida de la estructura, para así garantizar su homogeneidad y controlar las aplicaciones sucesivas.

Fuente: elaboración propia.

La inspección de esta etapa debe ser documentada mediante la *Ficha de supervisión de trabajos de metalmecánica (Inspección de procesos de trabajo en sitio)*, incluyendo los datos que ahí se solicitan e incorporando el visto bueno del inspector de la Institución y la persona a cargo por parte del contratista. El formulario mencionado se adjunta a continuación en la Figura 7.

4. EQUIPO Y MAQUINARIA NECESARIOS PARA EL PROCESO CONSTRUCTIVO ESTÁNDAR DE TANQUES METÁLICOS ELEVADOS PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE.

Como en todo proceso de construcción, el equipo, herramientas y maquinaria son insumos indispensables del método de fabricación que juegan un papel preponderante en este, influyendo en aspectos tan determinantes como logística de elaboración, calidad, tiempo y costo. A continuación, el Cuadro 9 resume el equipo y maquinarias necesarias para la consecución de las diferentes actividades que componen el proceso constructivo.

CUADRO 9. EQUIPO Y MAQUINARIA	
Actividad	Descripción del equipo
Corte de metal	Guillotina de corte de metal con capacidad de cisura de hasta 50,8mm de espesor, cortadora mecanizada de plasma o en su defecto equipo de corte de oxiacetileno. En caso de poseer el equipo, se debe realizar subcontrato por la prestación de servicios de corte.
Soldeo	- Soldadoras estacionarias o tipo inversor para electrodo revestido. - Horno estacionario de tratamiento térmico de electrodos. - Horno portátil de tratamiento térmico de electrodos
Perforado de metal	Taladro electromagnético de semibanco (portátil).
Preparación de superficie	Equipo de impulsión de arena a presión (<i>sand blasting</i>) para abrasión de metal mediante granalla.
Aplicación de pintura	Equipo de aplicación de pintura <i>airless</i> con accesorios.
Rolado de láminas	Roladora de láminas de acero con capacidad de doblez de hasta 25,4mm de espesor. En caso de poseer el equipo, se debe realizar subcontrato por la prestación de servicios de rolado.
Armado de tanque	Grúa de al menos 20 toneladas de capacidad. En caso de poseer el equipo, se debe realizar subcontrato por el alquiler del mismo.
Montaje de la estructura	Grúa de al menos 40 toneladas de capacidad. En caso de poseer el equipo, se debe realizar subcontrato por el alquiler del mismo.
Herramienta menor	Amoladoras, taladros escuadras, niveles, sargentos, mazos, plomos, mangueras de nivel, cintas métricas, cinceles, alicates, andamios, extensiones de corriente, tizas, brochas, trapos y cepillos.

5. SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL.

Cada una de las labores desempeñadas en los diferentes frentes de trabajo del proyecto a construir, obedecen a una naturaleza diferente en función de las tareas que se realizan y su peligrosidad. Estrechamente asociado a ese requerimiento de personal, debe existir una robusta cultura de salud y seguridad ocupacional, la cual debe verse no como una imposición, sino como una poderosa herramienta que puede llegar a significar la diferencia a la hora de salvaguardar una vida. El manejo de la seguridad y salud ocupacional abarca básicamente tres grandes ejes temáticos de regulación en la ejecución de actividades, estos son: Equipo básico de seguridad personal, Trabajos en altura y Manipulación de carga. A continuación se enumeran los requerimientos de cada uno de ellos.

5.1. Equipo básico de seguridad personal

En el Cuadro 10 se resume el total del equipo de seguridad necesario según la labor encomendada para cada una de las clasificaciones de colaboradores requeridos. Dicho equipo debe ser de uso obligatorio durante todo momento del horario laboral y dentro del área de trabajo, tanto en trabajos en el taller de fabricación de estructura, como en los trabajos en sitio.

CUADRO 10. EQUIPO DE SEGURIDAD PERSONAL BÁSICO SEGÚN EL CARGO DESEMPEÑADO	
Puesto	Descripción del equipo
Soldador y armador	Máscara para soldar completa Guantes de cuero de soldador Camisa de manga larga Zapatos de seguridad para soldar Mangas de cuero Delantal de cuero Gorro de soldador Mascarillas Tapones auditivos Arnés de seguridad completo (1)
Ayudante y peón	Casco de seguridad Chaleco de seguridad Zapatos de seguridad Lentes de seguridad Guantes de protección Cinturón lumbar Tapones auditivos Careta para esmerilar Arnés de seguridad completo (1)
Pintor y ayudante de pintura	Casco de seguridad Chaleco de seguridad Zapatos de seguridad Lentes de seguridad Guantes de protección Máscara disolución de orgánicos Mascarillas Tapones auditivos Arnés de seguridad completo (1)

Fuente: elaboración propia.

(1) En caso de ser necesaria su utilización.

5.2. Trabajos en altura

Las disposiciones de seguridad para labores relacionadas con el manejo manual y mecanizado de carga tanto en taller de fabricación, como en el sitio de obras, se muestran en el Cuadro 11. Todas son de acatamiento obligatorio durante el horario laboral.

CUADRO 11. DISPOSICIONES DE SEGURIDAD PARA LOS TRABAJOS EN ALTURA.	
Aspecto	Directriz
Equipo contra caídas	<ul style="list-style-type: none"> - Capacitación para el manejo correcto de arneses, cinturones de seguridad y líneas de vida. - Capacitación para la identificación y descarte de dispositivos dañados y en mal estado. - Capacitación para el manejo adecuado de líneas de vida y anclaje en casos donde el alcance de esta no es efectivo. - En condiciones excelentes de operación.
Escaleras	<ul style="list-style-type: none"> - Se permite el uso de elementos de cualquier longitud en forma de A, de extensión o de largo constante. - En condiciones excelentes de operación. - Exclusivamente de fibra de vidrio. - Dieléctricas. - Antiestáticas.
Andamios	<ul style="list-style-type: none"> - Únicamente andamiaje de seguridad. - En condiciones excelentes de operación. - Barandas de 0.90m de altura con barra intermedia y rodapié de 0.10m de longitud en todos los niveles de plataforma. - Factor de seguridad de 2,00 para su diseño y operación. - Capacitación para el desarrollo de criterios de descarte de elementos o componentes de los sistemas. - Arriostramiento adecuado para evitar los movimientos bruscos de los andamios que operen con sistemas de bases de apoyo móviles. - Fijamiento adecuado de los andamios que operen con sistemas de bases de apoyo fijas, sobre superficies adecuadas y resistentes.

Fuente: elaboración propia con base en el Reglamento de seguridad en construcciones.

5.3. Manipulación de carga

El manejo de cargas se divide en dos tipos según sea la magnitud de la masa a manipular, es decir, carga manual y carga mecánica. Para cada uno de los casos, existen normas de seguridad para el manejo correcto del volumen. El Cuadro 12 presenta las directrices definidas en cada caso, mismas que son de acatamiento obligatorio dentro del espacio y horario laboral. Es importante mencionar que las cargas superiores a las descritas como máximas para manipulación manual, deben movilizarse mediante varios operarios (sin superar los tres levantamientos por hora), o mediante el uso de algún método mecanizado.

CUADRO 12. DISPOSICIONES DE SEGURIDAD PARA LOS TRABAJOS DE MANIPULACIÓN DE CARGA.	
Aspecto	Directriz
Manipulación manual de carga	<ul style="list-style-type: none"> - Para el caso de mujeres entre 16 y 19 años, podrán manipular una carga máxima de 10 kg. - Las mujeres mayores de 19 años podrán manipular una carga máxima de 15 kg. - Para el caso de hombres entre 16 y 19 años, podrán manipular una carga máxima de 15 kg. - Los hombres mayores de 19 años podrán manipular una carga máxima de 20 kg.
Manipulación mecanizada de carga	<ul style="list-style-type: none"> - La elevación y descenso de cargas se debe hacer lentamente, evitando movimientos bruscos o violentos. - En todo momento el operador de la grúa debe contar con el o los asistentes necesarios para el señalamiento de manejo de cargas. - Tanto el operador como los asistentes, deben conocer el código de comunicación. - No se permite la permanencia de ninguna persona en la vertical del izaje de cargas, viajar sobre estas, en ganchos o eslingas. - No se permite dejar la grúa suspendida. - Se debe respetar en todo momento el <i>Diagrama de carga en función del alcance</i> del fabricante y debe estar visible en el 100% de la operación. - Los sistemas de estabilización del equipo (bancas) deben estar en perfecto estado. - El equipo debe estar equipado de sistemas luminosos y auditivos. - La verificación de los aditamentos de izaje debe ser semanal y debe evitar la formación de nudos, torceduras, deformaciones y desgarre de tejidos. - Al utilizar aditamentos de sujeción de dos o más ramales, el ángulo formado entre estos y el gancho de fijación recomendado es de 60° y en ningún caso debe ser mayor a 90°. - Es fundamental respetar y no exceder los factores de seguridad recomendados para la operación de carga mecanizada.

Fuente: elaboración propia con base en el Reglamento de seguridad en construcciones.

6. MANO DE OBRA INVOLUCRADA EN EL PROYECTO

Uno de los principales componentes asociados a la producción en general corresponde a la mano de obra. Los colaboradores son los responsables de la coordinación, ejecución y control de los trabajos realizados y el éxito de estos se debe en buena medida al uso correcto y estratégico de dicho recurso. En el Cuadro 13 se presenta la cantidad mínima sugerida para la ejecución de las obras descritas en el presente procedimiento de fabricación.

CUADRO 13. ASIGNACIÓN DE CANTIDAD DE RECURSO HUMANO POR FRENTE DE TRABAJO PARA EL PROYECTO				
Puesto	Estructura de soporte	Tanque	Estructuras misceláneas	Total
Encargado		1		1
Soldador	3	3	2	8
Armador	4	4	2	10
Ayudante	5	4	3	12
Peón	2	2	1	5
Pintor	1	1	0	2
Total por cuadrilla (*)	15	14	8	-

Fuente: elaboración propia.

(*) Sin incluir el encargado de taller.

7. Cálculo de pesos de la Estructura

Cálculo de peso de la estructura metálica.							
Estructura de soporte							
Fachadas Norte - Sur							
Arriostres inclinados							
4	Tubo PIPE8SCH40	5,99	23,96				
4	Tubo PIPE8SCH40	5,64	22,56				
4	Tubo PIPE8SCH40	5,3	21,2				
4	Tubo PIPE8SCH40	3,78	15,12				
			82,84		83		m
Arriostres horizontales							
2	Tubo PIPE8SCH40	8,66	17,32				
2	Tubo PIPE8SCH40	7,63	15,26				
2	Tubo PIPE8SCH40	6,6	13,2				
2	Tubo PIPE8SCH40	5,57	11,14				
			56,92		57		m
Columnas							
6	Tubo PIPE12SCH40	16,22	97,32				
			97,32		98		m
Fachadas Este - Oeste							
Arriostres horizontales							
10	Tubo PIPE8SCH40	7,93	79,3				
			79,3		80		m
Arriostres inclinados							
4	Tubo PIPE8SCH40	5,7	22,8				
4	Tubo PIPE8SCH40	5,66	22,64				
4	Tubo PIPE8SCH40	5,57	22,28				
4	Tubo PIPE8SCH40	5,4	21,6				
			89,32		90		m
Resumen peso de estructura							
310	m Tubo PIPE8SCH40	42,55	kg/m	13190,5	10371		kg
98	m Tubo PIPE12SCH40	73,78	kg/m	7230,44	7231		kg
6	Lamina 4x8x3/4	433	kg	2598	2598		kg
TOTAL DE PESO DE LA ESTRUCTURA					20200		kg
Reservorio							
12	Lamina 6x10x1/4	276,88	kg	3322,56	3323		kg
4	Lamina 4x8x1/4	147,67	kg	590,68	591		kg
8,95	m de pasarela interna	184,57	kg/m	1651,90	1649		kg
35,18	m de pasarela externa	296,49	kg/m	10430,52	10431		kg
					15994		kg

Anexos

Anexo 1

Tanque elevado de 150m³ de capacidad. Revisión del diseño estructural.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

Tanque elevado de 150 m³ de capacidad

Revisión del diseño estructural

Ing. Johnny Granados B.
Noviembre 2010

1

CONTENIDO

1. Objetivo
2. Criterio general de diseño
3. Descripción general de la estructura
4. Parámetros de diseño
5. Método de análisis
6. Conclusiones

Tanque elevado de 150 m³ Revisión del diseño estructural

1. Objetivo

Revisar el diseño estructural de la estructura de soporte del tanque elevado de 150 m³, considerando que se puede clasificar como tipo marco y no como voladizo. Aunque la masa oscilante en la cúspide es mayor que el 50 % de la masa total, el sistema de soporte en general no depende exclusivamente de su capacidad en torsión para resistir los efectos de un sismo, sino que su sistema sismorresistente está constituido por marcos de acero arriostrados.

2. Criterio general de diseño

El tanque se usará en cualquier parte del país, por lo que las condiciones de diseño para la estructura metálica serán las que correspondan a las condiciones más severas de diseño, tanto para la aceleración pico efectiva de diseño como para las condiciones del sitio de cimentación.

El análisis por sismo extremo rige el diseño, sobre el análisis para cargas gravitacionales y de viento.

El tanque es un cilindro horizontal con tapas metálicas en sus extremos y completamente lleno de agua en condiciones normales de uso. Se considera que todo el conjunto se mueve como una masa rígida y que el efecto de la masa oscilante de agua no es significativo, debido a las pequeñas dimensiones del contenedor.

3. Descripción de la estructura

El tanque consiste en un contenedor cilíndrico horizontal, formado por láminas de acero, de 4,66 m de diámetro y 7,93 m de longitud, cerrado con tapas planas en sus extremos. Está soportado sobre una estructura de 15 m de altura, fabricada con elementos de acero. La estructura de soporte es una torre tronco piramidal de base rectangular, formada por 6 patas verticales ligeramente inclinadas hacia afuera, con una separación entre caras de 7,93 m y 8,66 m en el nivel de apoyo en la cimentación. Está dividida en tres cuerpos de 4,15 m de altura y un cuerpo superior de 3,65 m, por medio de tres series de riostras horizontales. En los extremos superior e inferior también hay riostras horizontales. Estas riostras son elementos horizontales formados por dos perfiles UPN apareados, de 200 mm x 75 mm. Además, en cada cara hay riostras diagonales en forma de "V" invertida, formadas con un tubo estructural de 219 mm de diámetro externo y 8,2 mm de espesor.

Las seis columnas son de sección rectangular de 250 mm x 269 mm, formadas por placas de 9,5 mm de espesor.

Esta estructura se apoya en una cimentación de concreto reforzado, diseñada de acuerdo con las condiciones propias del sitio donde se instalará el tanque.

4. Parámetros de diseño

Parámetros sísmicos

De acuerdo con lo indicado en el Código Sísmico de Costa Rica 2002, para este tipo de estructuras se establecen los siguientes objetivos de desempeño:

Se considera esta estructura en la categoría de *instalaciones esenciales* en las que, ante sismos extremos, además de protegerse la vida de los transeúntes, se debe prevenir la ocurrencia de daños en la estructura y en aquellos componentes y sistemas no estructurales, capaces de interrumpir seriamente los servicios y funciones propios de la obra.

El sistema estructural se clasifica como *tipo marcol* que resiste las fuerzas sísmicas por medio de un sistema sismorresistente constituido por marcos arriostrados. Se considera el contenedor como un sistema horizontal de vinculación.

Esta estructura es regular en planta y altura pues su sistema sismorresistente es continuo desde la cimentación hasta el nivel superior, sin discontinuidades o desfases horizontales en ningún nivel.

Siendo esta estructura de uso en todo el país, para la evaluación de la estructura de soporte se considera el sitio de cimentación correspondiente a la zona sísmica IV, que es la mayor sismicidad.

Considerando que la estructura se podrá usar en todo el país y en cualquier terreno, se utilizará la condición más severa, correspondiente al tipo de suelo S_3 .

Las consideraciones anteriores de zonificación sísmica y sitio de cimentación establecen un parámetro indicador de la sacudida sísmica correspondiente a un período de retorno de 500 años y equivalente a una aceleración pico efectiva de diseño de 0,44 de la aceleración de la gravedad.

Siendo el objetivo de desempeño establecido que para sismos extremos las instalaciones esenciales deben cumplir con su propósito, sin interrupción seria de los servicios y funciones propios, se diseñará esta estructura para un sismo extremo, que se define como un sismo cuya sacudida sísmica, expresada en términos de la aceleración pico efectiva de diseño, es 50% mayor que la de un sismo severo para el mismo sitio.

De acuerdo con las indicaciones del Código Sísmico de Costa Rica 2002, se asigna una ductilidad local moderada, una ductilidad global de 4,0 y un factor de sobrerresistencia de 2,0.

Materiales

Los tubos serán de acero ASTM Designación A53 Grado B o ASTM A501, con un límite de cedencia mínimo de 2 450 kg/cm².

Los pernos de conexión deben satisfacer la especificación ASTM A325.

Los pernos de anclaje deben satisfacer la especificación ASTM F1554. En su defecto, se pueden usar materiales permitidos por el American Institute of Steel Construction, Inc. ASTM A36, ASTM A193, ASTM A354, ASTM A449, ASTM A572, ASTM A588.

La soldadura será E60-xx, como lo indica la American Welding Society.

Factores de participación

Se analizará la estructura de soporte para cada una de las siguientes combinaciones de carga última:

CU1= 1,40 carga permanente

CU2= 1,05 carga permanente + 1,00 carga sísmica + 0,30 carga sísmica ortogonal

CU3= 0,95 carga permanente + 1,00 carga sísmica + 0,30 carga sísmica ortogonal

En el caso del análisis de esta estructura el efecto de la masa oscilante en el depósito no tiene efectos significativos a causa de las pequeñas dimensiones de éste.

5. Método de análisis

La estructura de soporte se diseñará para las solicitaciones sísmicas horizontales en sus dos direcciones ortogonales más desfavorables, realizando el análisis en cada dirección en forma independiente. Las solicitaciones sísmicas se toman como la suma vectorial de los efectos en una dirección más el 30% de los efectos en la otra dirección. El proceso se efectúa en ambas direcciones.

En el modelo analítico se consideran los efectos de segundo orden causados por las cargas gravitacionales en los desplazamientos laterales (efecto P - Δ). Se ha utilizado el programa comercial de análisis y diseño RAM Advance.

Se ha usado un método de análisis dinámico que cuantifica el efecto del sismo sobre la estructura, considerando las características de rigidez del sistema estructural.

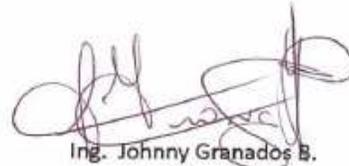
6. Conclusiones

El sistema estructural tipo marco tiene un comportamiento estructural favorable ante las solicitaciones sísmicas, lo que permite asignarle un factor de sobrerresistencia y una ductilidad mayores y, por ende, un coeficiente sísmico menor.

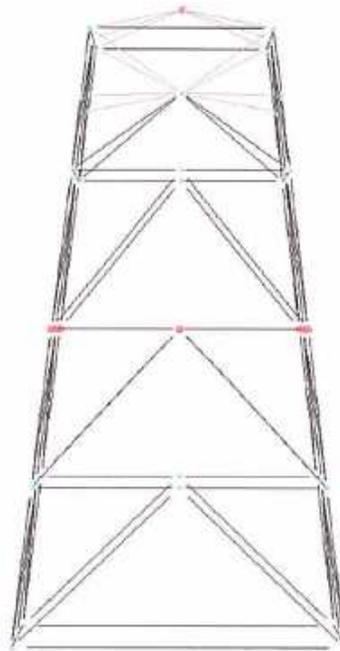
Las secciones de los elementos se mantienen según su diseño original, con las siguientes dimensiones:

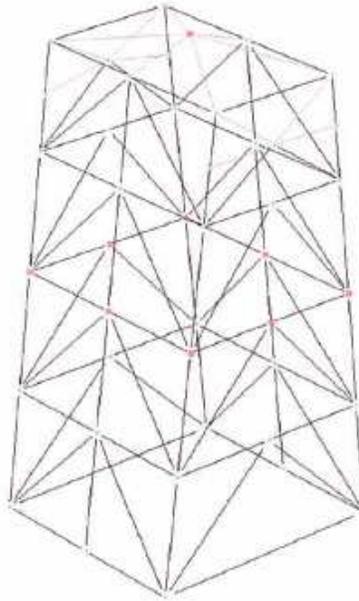
Columnas:	250 mm x 269 mm x 9,5 mm de espesor
Riostras horizontales:	2 UPN de 200 mm x 75 mm
Riostras diagonales	tubo 219 mm diámetro externo; 8,2 mm de espesor

El peso total del contenedor se estima en 166 toneladas y el peso de la torre de soporte en 28 toneladas.



Ing. Johnny Granados B.
Noviembre 2010







Current Date: 17/11/2010 05:30 p.m.

Units system:Metric

File name: C:\Users\Johnny\Documents\Asuntos profesionales\PROYECTOS EN EJECUCIÓN\Tanques elevados. AyA\2010-10-29 REVISIÓN TANQUES AYA\CARPETA FINAL CON TODO EL MATERIAL DE REVISIÓN\Tanque 150 m3. Revisión de diseño. adv\

Analysis Results

Reactions



Direction of positive forces and moments

Node	Forces [Ton]			Moments [Ton*m]		
	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Condition CU1=1.4DL+1.4CT						
5	6.76912	53.55689	6.88336	-0.19660	-0.02321	0.69897
6	-6.76912	53.55689	6.88336	-0.19660	0.02321	-0.69897
41	3.32458	26.66247	-0.00001	-0.00002	-0.00006	0.20424
42	-3.32458	26.66247	-0.00001	-0.00002	0.00006	-0.20424
2	-6.76739	53.54357	-6.88335	0.19651	-0.02373	-0.69886
1	6.76739	53.54357	-6.88335	0.19651	0.02373	0.69886
SUM	0.00000	271.56967	0.00000	-0.00023	0.00000	0.00000
Condition CU2=1.05DL+SNS+0.3SEW+1.05CT						
5	-6.33243	10.33724	6.37243	0.05930	-0.20272	0.95943
6	-20.80511	105.30717	12.61839	-0.05023	-0.05393	-0.15724
41	0.83688	8.52090	0.03916	0.11270	-0.00962	0.68665
42	-4.15197	34.49988	0.03916	0.11226	0.00950	0.39870
2	-16.50152	70.04345	-3.66820	0.35390	0.16920	-0.08677
1	-10.67065	-25.03126	2.30975	0.24556	0.06728	0.89147
SUM	-57.62500	203.67739	17.41070	0.63338	-0.00029	2.70225
Condition CU3=0.95DL+SNS+0.3SEW+0.95CT						
5	-8.81599	6.51173	5.88073	0.07332	-0.20092	0.90943
6	-20.32155	101.48166	12.12669	-0.03622	-0.05573	-0.10725
41	0.59951	6.47191	0.03916	0.11270	-0.00962	0.68141
42	-3.91460	32.45090	0.03916	0.11226	0.00950	0.41395
2	-16.01808	66.21903	-3.47650	0.33979	0.17104	-0.03678
1	-11.15429	-28.85588	2.80145	0.23155	0.08544	0.84148
SUM	-57.62500	184.27955	17.41070	0.83339	-0.00029	2.70225
Condition CU4=1.05DL+0.3SNS+SEW+1.05CT						
5	8.20535	84.76546	18.66907	0.37597	-0.24794	0.75934
6	-16.34662	113.25644	20.54286	0.34310	0.17095	-0.51869
41	1.99716	17.61354	0.13056	0.37502	-0.03178	0.31323
42	-2.99169	25.40724	0.13056	0.37489	0.03175	0.01538
2	-1.95153	-4.42145	8.33983	0.67091	0.21445	-0.28777
1	-6.20018	-32.94386	10.22301	0.63844	-0.13750	0.52918
SUM	-17.28750	203.67737	58.03567	2.77833	-0.00009	0.81067
Condition CU5=0.95DL+0.3SNS+SEW+0.95CT						
5	7.72179	80.93994	18.17737	0.38998	-0.24615	0.70934
6	-15.86305	109.43092	20.05115	0.35712	0.16915	-0.46869
41	1.75979	15.56456	0.13056	0.37502	-0.03178	0.29798
42	-2.75432	23.35825	0.13056	0.37489	0.03174	0.03062
2	-1.46809	-8.24587	8.83133	0.65890	0.21628	-0.23778

Condition CU6=DL						
5	0.83864	5.68384	0.58263	-0.12624	-0.05246	0.44133
6	-0.83864	5.68384	0.58263	-0.12624	0.05246	-0.44133
41	0.22937	2.67194	-0.00001	-0.00001	0.00000	0.17173
42	-0.22937	2.67194	-0.00001	-0.00001	0.00000	-0.17173
2	-0.83731	5.67296	-0.58262	0.12621	-0.05245	-0.44129
1	0.83731	5.67296	-0.58262	0.12621	0.05245	0.44129
SUM	0.00000	28.05748	0.00000	-0.00007	0.00000	0.00000
Condition CU7=CT						
5	3.99508	32.57322	4.33385	-0.01494	0.03776	0.05773
6	-3.99508	32.57322	4.33385	-0.01494	-0.03776	-0.05773
41	2.14488	17.81408	0.00000	0.00000	-0.00005	-0.03242
42	-2.14488	17.81408	0.00000	0.00000	0.00005	0.03242
2	-3.99518	32.57320	-4.33385	0.01490	0.03738	-0.05769
1	3.99518	32.57320	-4.33385	0.01490	-0.03738	0.05769
SUM	0.00000	165.92100	0.00000	-0.00009	0.00000	0.00000
Condition CU8=SNS						
5	-13.56877	-47.48497	-3.12298	0.05477	-0.12833	0.40109
6	-13.56877	-47.48497	3.12298	-0.05477	-0.12833	0.40109
41	-1.65755	-12.98949	0.00000	0.00022	-0.00006	0.54768
42	-1.65755	-12.98949	0.00000	-0.00022	-0.00006	0.54768
2	-13.58618	-47.53735	-3.13897	0.05412	0.12824	0.40235
1	-13.58618	-47.53735	3.13897	-0.05412	0.12824	0.40235
SUM	-57.62500	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00029	2.70225
Condition CU9=SEW						
5	7.19949	58.84106	14.44364	0.50714	-0.19293	0.11525
6	-7.19949	58.84106	14.44364	0.50714	0.19293	-0.11525
41	0.00000	0.00000	0.13056	0.37497	-0.03172	-0.00007
42	0.00000	0.00000	0.13056	0.37497	0.03172	0.00007
2	7.19952	-58.84107	14.44363	0.50714	0.19287	0.11521
1	-7.19952	-58.84107	14.44363	0.50714	-0.19287	-0.11521
SUM	0.00000	-0.00003	58.03567	2.77850	0.00000	0.00000

Referencias

1
2
3
4
5
6

- American Institute of Steel Construction. 2007. **ANSI/AISC 350-05. Specifications for structural Steel buildings**. Estados Unidos.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. 2011. **Código Sísmico de Costa Rica 2010**. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. 2007. **Guía práctica para normar y elaborar manuales y procedimientos institucionales**. Costa Rica: Publicaciones.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. 2007. **Instructivo de la guía práctica para normar y elaborar manuales y procedimientos institucionales**. Costa Rica: Publicaciones
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo. 2006. **Reglamento de construcciones de Costa Rica**. Costa Rica: Investigaciones jurídicas S.A.
- Instituto Nacional de Seguros. 2012. **Reglamento de seguridad en construcciones**. San José: rescatado de la información consignada en el taller de seguridad ocupacional impartido en el AyA en diciembre del 2016.
- Norma INTE. 2014. **INTE ISO-11228-1**. San José: recuperado de la información consignada en el taller de seguridad ocupacional impartido en el AyA en diciembre del 2016.
- Norma INTE. 2015. **INTE 31-09-15-00**. San José: recuperado de la información consignada en el taller de seguridad ocupacional impartido en el AyA en diciembre del 2016.
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. 1996. **Decreto 11074-TSS**. San José: recuperado de la información consignada en el taller de seguridad ocupacional impartido en el AyA en diciembre del 2016.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. 2003. **Reglamento de Circulación por Carretera con Base en el Peso y las Dimensiones de los Vehículos de Carga**. San Jose: recuperado en octubre del 2018 del Sistema Costarricense de Información Jurídica.
- McCormac, J. Csernak, S. 2012. **Diseño de estructuras de acero**. México: Alfaomega Grupo Editor S.A.
- Salmon, C. Johnson, J. 1990. **Steel Structures, design and behavior**. Estados Unidos: Harper & Row Publishers Inc.
- Quiroz, L. 2014. **Análisis y diseño de estructuras con SAP-2000 v15**. Perú: Empresa Editora Macro EIRL.
- The Society for Protective Coatings. 2014. **Procedure for determining conformance to dry coatings thickness requirements**. Estados Unidos: SSPC Producter.
- American Society for Testing and Materials. 2010. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code**. Estados Unidos.
- American Welding Society. 2010. **Structural Welding Code Steel**. Estados Unidos.

American Water Works Association. 2011.
Welded Steel Tanks for Water Storage.
Estados Unidos.

Jiménez, S. 2018. **Entrevista con Maria José Abarca Valdelomar.** San José: AyA. Comunicación personal.

Jiménez, S. 2018. **Entrevista con el Ing. Ernesto Fernández Vaglio.** San José: Fernández & Vaglio Constructora. Comunicación personal.

Jiménez, S. 2018. **Entrevista con el Ing. Juan José Pérez Quirós.** Heredia: CODOCSA. Comunicación personal.

Jiménez, S. 2018. **Entrevista con el Ing. Allan Padilla Brenes.** San José Industrias BENDIG S.A. Comunicación personal.

Jiménez, S. 2018. **Entrevista con el Ing. Juan Solano Brenes.** Cartago INTEC Internacional S.A. Comunicación personal.